

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Návrh systému vytápění s tepelným čerpadlem voda – voda

Heating System Design With Water to Water Heat Pump

Student:

Bc. Petr Kufa

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Petr Kufa

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

2302T006 Energetické stroje a zařízení

Téma:

Návrh systému vytápění s tepelným čerpadlem voda - voda
Heating System Design with Water to Water Heat Pump

Zásady pro vypracování:

Vypracujte projekt systému vytápění a přípravy teplé vody v rodinném domě s využitím tepelného čerpadla voda-voda. Při návrhu vycházejte z konkrétních klimatických poměrů v dané lokalitě.

Diplomová práce bude obsahovat:

1. Výpočet tepelně izolačních vlastností domu a sezónní potřeby tepla pro vytápění a přípravu teplé vody.
2. Kapacitní a bilanční výpočty.
3. Konstrukční návrh tepelného čerpadla.
4. Projekt rozvodů a zapojení do stávajícího systému.
5. Stanovení environmentálního přínosu projektu a ekonomické vyhodnocení.

Grafické práce: Sestava tepelného čerpadla, Schéma systému vytápění a přípravy teplé vody, Dispoziční uspořádání v rámci objektu

Seznam doporučené odborné literatury:

KAMINSKÝ, J.; VRTEK, M. Obnovitelné zdroje energie. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998. 102 s. ISBN 80–7078–445–8.

HUMM, O. Nízkoenergetické domy. Praha : Grada, 1999. 353 s. ISBN 80–7169–657–9.

TURNER, W., C. Energy Management Handbook. 3. vyd. Lilburn : The Fairmont Press, Inc., 1997. 400 s. ISBN: 0–13–728098–X.

SMOLÍK, J. Technika prostředí. Praha : SNTL/ALFA, 1985. 317 s.

MORAN, M.J.; SHAPIRO, H.N. Fundamental of Engineering Thermodynamics. 2.vyd. New York : John Wiley & Sons, Inc., 1992. ISBN 0471076813.

DVOŘÁK Z., KLAZAR L., PETRÁK J. Tepelná čerpadla. Vyd. 1. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987. 339 s.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011




prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 22.05.2011

.....
Petr Kufa

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Petr Kufa
Mosty u Jablunkova 690
739 98

V Ostravě 22.05.2011

.....
Petr Kufa

Anotace diplomové práce

KUFA, P. *Návrh systému vytápění s tepelným čerpadlem voda – voda: diplomová práce*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2011, 73 s. Vedoucí práce: Vrtek, M.

Diplomová práce obsahuje návrh tepelného čerpadla pro rodinný dům podle tepelné ztráty tohoto domu. Dále obsahuje popis základních částí tepelného čerpadla, jako např. kompresoru, tepelných výměníků atd. V práci jsou spočítány náklady na konstrukci tepelného čerpadla a porovnání provozních nákladů na vytápění a přípravu teplé vody tepelným čerpadlem a kotlem na zemní plyn, a návratnost investice. Práce také obsahuje environmentální hodnocení použití tepelného čerpadla a kotle na zemní plyn.

KUFA, P. *Heating System Design with Water to Water Heat Pump: Master Thesis*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering, 2011, 73 p. Thesis head: Vrtek, M.

This thesis contains heat pipe design for family house according to its heat loss. Heat pump and its basic parts like for example compressor, heat exchangers etc. are described. There are construction costs of heat pump, comparison of operating costs of heating with heat pump and natural gas boiler, and return of investments. There is environmental assessment of using heat pump and natural gas boiler.

Obsah:

Použité značení, zkratky	8
1. Úvod	16
2. Popis budovy	17
3. Výpočet tepelných ztrát	17
3.1. Příklad výpočtu tepelné ztráty místnosti č. 1.01 – obývací pokoj + K. K.	18
3.1.1. Součinitel prostupu tepla	18
3.1.2. Výpočet základní tepelné ztráty	19
3.1.3. Výpočet ztráty tepla prostupem	20
3.1.4. Výpočet tepelné ztráty větráním	22
3.2. Výpočet celkové tepelné ztráty	23
3.3. Roční spotřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát objektu	24
3.4. Potřeba tepla na přípravu teplé vody	25
3.4.1. Potřeba tepla pro přehřev TV	26
3.4.2. Potřeba tepla pro dohřev TV	28
3.5. Celková potřeba tepla	30
3.5.1. Návrh expanzní nádoby	30
3.5.2. Návrh oběhových čerpadel	33
4. Návrh tepelného čerpadla	34
4.1. Princip	34
4.2. Výpočet oběhu tepelného čerpadla	36
4.3. Výpočet průměrů potrubí TČ	41
4.4. Volba jednotlivých dílů tepelného čerpadla	42
4.4.1. Návrh výměníků tepla	42
4.4.2. Výběr kompresoru	43
4.4.3. Výběr sběrače kapaliny	44
4.4.4. Výběr filtrdehydrátoru	45
4.4.5. Výběr průhledítka	46
4.4.6. Výběr expanzního ventilu	46
4.5. Výpočet primárního potrubí	47
4.5.1. Výpočet množství čerpané vody	47
4.5.2. Výpočet třecích ztrát	48
4.5.3. Výpočet místních ztrát	51
4.5.4. Výpočet celkové tlakové ztráty primárního potrubí	54

5. Stanovení bivalentního bodu	54
6. Ekonomické hodnocení	55
6.1. Předpokládané náklady na stavbu TČ	55
6.2. Provozní náklady.....	57
6.2.1. Náklady na provoz v otopné sezoně	58
6.2.2. Náklady na provoz mimo otopnou sezonu	61
6.3. Celkové roční provozní náklady	64
6.4. Náklady na vytápění stejného objektu zemním plynem	65
6.5. Návratnost	66
7. Environmentální hodnocení.....	67
8. Závěr.....	70
Seznam použitých zdrojů.....	72
Použité výpočtové programy	73
Seznam příloh	73

Použité značení, zkratky

Označení	Název	Jednotka
a	skutečná měrná práce kompresoru	$[kJ/kg]$
a_t	teoretická měrná práce kompresoru	$[kJ/kg]$
B	charakteristické číslo budovy	$[Pa^{-0,67}]$
$c_{p,dohřev}$	měrná tepelná kapacita TV při dohřevu	$[kJ/(kg \cdot K)]$
$c_{p,OS}$	měrná tepelná kapacita vody v otopné soustavě	$[kJ/(kg \cdot K)]$
$c_{p,TV}$	měrná tepelná kapacita předehřáté vody v zásobníku TV	$[kJ/(kg \cdot K)]$
$c_{p,voda}$	měrná tepelná kapacita primární vody	$[kJ/(kg \cdot K)]$
$c_{p,zásobník,TV}$	měrná tepelná kapacita vody v zásobníku TV	$[kJ/(kg \cdot K)]$
C_{ZP}	součet cen za odebraný zemní plyn	$[Kč/kWh]$
d	průměr primárního potrubí	$[m]$
D	dotace z programu Zelená úsporám	$[Kč]$
d_C	celkový počet dní otopného období	$[1]$
d_i	počet dní v měsíci	$[1]$
$d_{kapalina}$	průměr kapalinového potrubí	$[m]$
d_n	prostá doba návratnosti	$[rok]$
$d_{sání}$	průměr sacího potrubí	$[m]$
$d_{výtlač}$	průměr výtlačného potrubí	$[m]$
E_{CT}	celková potřeba tepla na vytápění, předehřev a dohřev TV	$[GJ/rok]$
$E_{dohřev,rok}$	potřeba tepla na dohřev teplé vody za rok	$[J/rok]$
$E_{T,J/rok}$	potřeba tepla k pokrytí tepelných ztrát objektu za rok	$[J/rok]$
$E_{Ti,J}$	potřeba tepla k pokrytí tepelných ztrát objektu za měsíc	$[GJ]$
$E_{T+TV,i}$	potřeba tepla k pokrytí tepelných ztrát objektu za měsíc	$[GJ]$
$E_{předehřev,rok}$	potřeba tepla na předehřev teplé vody za rok	$[J/rok]$
g	gravitační zrychlení	$[m/s^2]$
h	výška vodního sloupce nad expanzní nádobou	$[m]$
h_1	měrná entalpie chladiva v sání kompresoru	$[kJ/kg]$
h_2	měrná entalpie chladiva po kompresi v kompresoru	$[kJ/kg]$
$h_{2,ie}$	teoretická měrná entalpie chladiva po kompresi v kompresoru	$[kJ/kg]$

h_3	měrná entalpie chladiva na konci kondenzace	$[kJ/kg]$
h_4	měrná entalpie chladiva po expanzi na expanzním ventilu	$[kJ/kg]$
i_{LV}	součinitel spárové průvzdušnosti oken a dveří	$[m^2/(s \cdot Pa^{0,67})]$
k_C	průměrný součinitel prostupu tepla všech konstrukcí místnosti	$[W/(m^2 \cdot K)]$
k_j	součinitel prostupu tepla jednotlivými stavebními konstrukcemi a prvky místnosti	$[W/(m^2 \cdot K)]$
<i>Kontrola</i>	kontrola správnosti výpočtu oběhu TČ	$[kW]$
k_V	koeficient kulového kohoutu	$[1]$
L	délka spár otevíraných částí oken a venkovních dveří	$[m]$
l_1	délka přívodní části primárního potrubí	$[m]$
l_2	délka odvodní části primárního potrubí	$[m]$
M	charakteristické číslo místnosti	$[1]$
\dot{m}	hmotový tok chladiva	$[kg/s]$
\dot{m}_{voda}	hmotový tok primární vody	$[kg/s]$
n	součinitel zvětšení objemu expanzní nádoby	$[1]$
N_{BZ}	náklady na provoz bivalentního zdroje	$[Kč]$
N_{CN}	celkové náklady na provoz za rok	$[Kč]$
N_{DN}	náklady na připojení TČ k otopné soustavě	$[Kč]$
$N_{dohřev}$	náklady na dohřev TV pomocí elektrického topného tělesa v otopném/mimo otopné období	$[Kč]$
n_h	intenzita výměny vzduchu	$[h^{-1}]$
N_{IC}	celkové investiční náklady	$[Kč]$
N_{ID}	náklady na připojení TČ ke zdroji tepla snížené o dotaci	$[Kč]$
$N_{kompresor}$	náklady na provoz kompresoru TČ v otopném/mimo otopné období	$[Kč]$
N_{MOT}	náklady na provoz mimo otopné období	$[Kč]$
$N_{OČ,topné}$	náklady na provoz oběhového čerpadla topné vody	$[Kč]$
$N_{OČ,TV}$	náklady na provoz oběhového čerpadla TV v otopném/mimo otopné období	$[Kč]$
n_{OS}	počet osob v domácnosti	$[1]$
N_{OT}	náklady na provoz v otopném období	$[Kč]$
N_{PCM}	pevná cena elektřiny za měsíc	$[Kč]$
$N_{PČ}$	náklady na provoz ponorného čerpadla v otopném/mimo otopné období	$[Kč]$

N_{PP}	měsíční poplatek za příkon podle jmenovité proudové hodnoty jističe	[Kč]
N_{SMP}	součet stálých měsíčních poplatků za plyn	[Kč]
$N_{TČ+NP}$	náklady na připojení TČ ke zdroji tepla	[Kč]
N_{ZP}	náklady na vytápění a přípravu TV zemním plynem	[Kč]
p_0	vypařovací tlak chladiva	[kPa]
p_1	přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	[1]
p_2	přirážka na urychlení zátoku	[1]
p_3	přirážka na světovou stranu	[1]
p_b	barometrický tlak	[kPa]
p_d	absolutní hydrostatický tlak v otopné soustavě	[kPa]
P_{el}	potřebný výkon elektrického topného tělesa k dohřevu TV	[W]
$P_{el,zásobník,TV}$	příkon elektrického topného tělesa v zásobníku TV	[kW]
p_h	hydrostatický tlak vyvozený sloupcem vody v soustavě	[kPa]
$p_{h,dov}$	nejvyšší dovolený absolutní tlak v otopné soustavě	[kPa]
p_K	kondenzační tlak chladiva	[kPa]
P_K	příkon zvoleného kompresoru	[kW]
$P_{kompresoru}$	skutečný příkon kompresoru	[kW]
$P_{kompresoru,t}$	teoretický příkon kompresoru	[kW]
$P_{oČ,topné}$	příkon oběhového čerpadla topné vody	[W]
$P_{pČ}$	příkon ponorného čerpadla	[kW]
$P_{předehřev}$	výkon nutný k předehřevu vody	[kW]
p_z	celková tlaková ztráta primárního potrubí	[kPa]
$p_{z,filtr}$	tlaková ztráta filtru primární vody	[kPa]
$p_{z,kohout}$	tlaková ztráta kulového kohoutu	[Pa]
$p_{z,koleno}$	tlaková ztráta kolene 90°	[kPa]
$p_{z,místní}$	celková tlaková ztráta vyvolaná místními odpory	[kPa]
$p_{z,průtokoměr}$	tlaková ztráta průtokoměru	[kPa]
$p_{z,třecí}$	tlaková ztráta třením v primárním potrubí	[kPa]
$p_{z,třecí,1}$	tlaková ztráta třením v přívodní části primárního potrubí	[kPa]
$p_{z,třecí,2}$	tlaková ztráta třením v odvodní části primárního potrubí	[kPa]
$p_{z,výparník}$	tlaková ztráta výparníku	[kPa]
Q	průtok primární vody	[m ³ /s]

q_0	hmotová chladivost	$[kJ/kg]$
\dot{Q}_0	základní tepelná ztráta místnosti	$[kW]$
$\dot{Q}_{0,TČ}$	chladicí výkon TČ	$[kW]$
Q_{BZ}	elektrická energie potřebná pro provoz bivalentního zdroje	$[MWh]$
\dot{Q}_C	celková tepelná ztráta místnosti	$[kW]$
$\dot{Q}_{C,RD}$	celková tepelná ztráta rodinného domu	$[kW]$
\dot{Q}_{C,RD,m^2}	tepelná ztráta objektu na 1 m ² podlahových ploch	$[W/m^2]$
\dot{Q}_{CT}	celková potřeba tepla pro vytápění, předehřev a dohřev TV	$[MWh/rok]$
$Q_{dohřev}$	elektrická energie potřebná k dohřevu TV v otopném/mimo otopné období	$[MWh]$
$\dot{Q}_{dohřev,den}$	teplo potřebné k dohřevu TV za den	$[Wh/den]$
$\dot{Q}_{dohřev,rok}$	teplo potřebné k dohřevu TV za rok	$[Wh/rok]$
$Q_{kompresor}$	elektrická energie potřebná pro provoz kompresoru TČ v otopném/mimo otopné období	$[MWh]$
$Q_{OČ,topné}$	elektrická energie potřebná pro provoz oběhového čerpadla topné vody v otopném/mimo otopné období	$[MWh]$
$Q_{OČ,TV}$	elektrická energie potřebná pro provoz oběhového čerpadla TV v otopném/mimo otopné období	$[MWh]$
\dot{Q}_P	tepelná ztráta místnosti prostupem tepla	$[kW]$
$Q_{PČ}$	elektrická energie potřebná pro provoz ponorného čerpadla v otopném/mimo otopné období	$[MWh]$
$\dot{Q}_{předehřev,den}$	potřeba tepla k předehřevu TV za den	$[Wh/den]$
$\dot{Q}_{předehřev,rok}$	potřeba tepla k předehřevu TV za rok	$[Wh/rok]$
q_T	hmotová topivost chladiva	$[kJ/kg]$
\dot{Q}_T	topný výkon TČ	$[kW]$
$\dot{Q}_{Ti,Wh}$	potřeba tepla na vytápění v měsíci	$[MWh]$
$\dot{Q}_{T+TV,i}$	potřeba tepla na vytápění a předehřev TV v měsíci	$[MWh]$
$q_{T,t}$	teoretická hmotová topivost chladiva	$[kJ/kg]$
$\dot{Q}_{T,Wh/rok}$	potřeba tepla k pokrytí tepelných ztrát	$[Wh/rok]$
\dot{Q}_V	tepelná ztráta místnosti větráním	$[kW]$
Re_1	Reynoldsovo číslo pro přívodní část primárního potrubí	$[1]$
Re_2	Reynoldsovo číslo pro odváděcí část primárního potrubí	$[1]$
Re_M	mezí hodnota Reynoldsova čísla pro plně vyvinuté	

	turbulentní proudění	[1]
S	průřez primárního potrubí	$[m^2]$
S_j	plocha stavební konstrukce nebo prvku místnosti	$[m^2]$
S_p	plocha podlahy	$[m^2]$
$S_{p,C}$	celková podlahová plocha objektu	$[m^2]$
T_0	teplota vypařování chladiva	$[^{\circ}C, K]$
T_1	teplota par chladiva v sání kompresoru	$[^{\circ}C, K]$
T_2	teplota par chladiva na výtlaku kompresoru	$[^{\circ}C, K]$
$T_{2,ie}$	teoretická teplota par chladiva na výtlaku kompresoru	$[^{\circ}C, K]$
T_{02}	teplota par chladiva na začátku kondenzace	$[^{\circ}C, K]$
T_{03}	teplota kapalného chladiva na konci kondenzace	$[^{\circ}C, K]$
T_3	teplota kapalného chladiva po podchlazení v kondenzátoru	$[^{\circ}C, K]$
T_4	teplota chladiva po expanzi na expanzním ventilu	$[^{\circ}C, K]$
t_e	vnější výpočtová teplota	$[^{\circ}C, K]$
$t_{es,i}$	průměrná venkovní teplota v měsíci	$[^{\circ}C, K]$
t_i	vnitřní výpočtová teplota	$[^{\circ}C, K]$
t_{ip}	průměrná vnitřní teplota vztažená na obytnou plochu	$[^{\circ}C, K]$
T_K	teplota kondenzace chladiva	$[^{\circ}C, K]$
t_p	požadovaná teplota teplé vody	$[^{\circ}C, K]$
$t_{stř,dohřev}$	střední teplota dohřívání TV	
$t_{stř,OS}$	střední teplota vody v otopné soustavě	$[^{\circ}C, K]$
$t_{stř,TV}$	střední teplota předehřáté vody zásobníku TV	$[^{\circ}C, K]$
$t_{stř,zásobník,TV}$	střední teplota vody v zásobníku TV	$[^{\circ}C, K]$
$t_{topná}$	návrhová teplota topné vody	$[^{\circ}C, K]$
$t_{vratná}$	návrhová teplota vody ve vratné větvi	$[^{\circ}C, K]$
$t_{V,1}$	teplota předehřáté vody v zásobníku TV	$[^{\circ}C, K]$
$t_{V,2}$	průměrná teplota vody na vstupu do zásobníku TV	$[^{\circ}C, K]$
$t_{V,topná}$	teplota topné vody	$[^{\circ}C, K]$
$t_{V,vratná}$	teplota vratné vody	$[^{\circ}C, K]$
$t_{voda,1}$	teplota čerpané vody	$[^{\circ}C, K]$
$t_{voda,2}$	teplota vody vracené do země	$[^{\circ}C, K]$
U_r	roční úspory	$[K\check{c}]$
V_0	objem vody v otopné soustavě	$[m^3]$

V_{AN}	objem zvolené akumulární nádrže	[l]
V_{en}	výpočtový objem expanzní nádoby	[l]
$\dot{V}_{kapalina}$	objemový tok chladiva v kapalinovém potrubí	[m ³ /s]
V_m	objem místnosti	[m ³]
V_M	měrný objem akumulární nádrže topný vody	[m ³ /kW]
$\dot{V}_{OČ}$	potřebný objemový průtok topné vody	[m ³ /s]
$V_{OS,D}$	množství vody na osobu a den	[m ³ /(osobu · den)]
$\dot{V}_{sání}$	objemový tok chladiva v sání kompresoru	[m ³ /s]
\dot{V}_V	objemový průtok větracího vzduchu	[m ³ /s]
\dot{V}_{VH}	potřebný objemový průtok větracího vzduchu	[m ³ /s]
\dot{V}_{VP}	objemový průtok infiltrovaného větracího vzduchu	[m ³ /s]
$\dot{V}_{výtlak}$	objemový tok chladiva na výtlaku kompresoru	[m ³ /s]
V_{TV}	potřebný objem teplé vody na rok	[m ³ /rok]
$V_{TV,D}$	potřebný objem teplé vody na den	[m ³ /den]
\dot{V}_{voda}	objemový tok primární vody	[m ³ /s]
$V_{zásobník,TV}$	objem vody ve zvoleném zásobníku	[m ³]
V_{ZP}	objem spáleného zemního plynu	[m ³ /rok]
$w_{kapalina}$	doporučená/volená rychlost chladiva v kapalinovém potrubí	[m/s]
$w_{sání}$	doporučená/volená rychlost chladiva v sacím potrubí	[m/s]
$w_{výtlak}$	doporučená/volená rychlost chladiva ve výtlačném potrubí	[m/s]
w_{voda}	průměrná rychlost primární vody	[m/s]
z_1	počet kulových kohoutů na primárním potrubí	[1]
z_2	počet kolen na primárním potrubí	[1]
α_1	součinitel přestupu tepla vnitřního prostředí	[W/(m ² · K)]
α_1	součinitel přestupu tepla vnějšího prostředí	[W/(m ² · K)]
ΔT_K	podchlazení na kondenzátoru	[°C, K]
ΔT_V	přehřátí na výparníku	[°C, K]
ε_0	chladicí faktor	[1]
ε_T	topný faktor	[1]
$\varepsilon_{T,sk}$	skutečný topný faktor s ohledem na příkon ponorného čerpadla a zvoleného kompresoru	[1]
$\varepsilon_{T,t}$	teoretický topný faktor	[1]

φ	čerpací poměr	[1]
η	stupeň využití expanzní nádoby	[1]
η_1	dynamická viskozita primární vody v přívodní části primárního potrubí	[Pa · s]
η_2	dynamická viskozita primární vody v odvodní části primárního potrubí	[Pa · s]
$\eta_{\text{kompresoru}}$	účinnost kompresoru	[1]
η_{kotle}	účinnost kotle na zemní plyn	[1]
λ_1	součinitel tření v přívodní části primárního potrubí	[1]
λ_2	součinitel tření v odvodní části primárního potrubí	[1]
v	směrná hodnota vodního obsahu otopné soustavy	[l/kg]
ν_1	kinematická viskozita primární vody v přívodní části primárního potrubí	[m ² /s]
ν_2	kinematická viskozita primární vody v odvodní části primárního potrubí	[m ² /s]
ρ	hustota vratné topné vody	[kg/m ³]
ρ_{kapalina}	hustota kapalného chladiva	[kg/m ³]
ρ_{OS}	hustota vody v otopné soustavě	[kg/m ³]
$\rho_{\text{sání}}$	hustota chladiva v sání kompresoru	[kg/m ³]
ρ_{TV}	hustota přehřáté vody v zásobníku TV	[kg/m ³]
$\rho_{\text{TV,dohřev}}$	hustota TV pro střední teplotu při dohřevu	[kg/m ³]
$\rho_{\text{výtlak}}$	hustota chladiva na výtlaku kompresoru	[kg/m ³]
ρ_{voda}	hustota primární vody	[kg/m ³]
$\rho_{\text{zásobník,TV}}$	hustota TV pro střední teplotu vody v zásobníku TV	[kg/m ³]
σ	kompresní poměr	[1]
$\Sigma(i_{LV} \cdot L)$	součet průvzdušnosti oken a dveří místnosti	[m ³ /(s · Pa ^{0.67})]
ξ	součinitel místního odporu (kolene)	[1]
τ	dobu potřebná pro ohřev/dohřev teplé vody	[h]
τ_C	dobu potřebná k ohřevu TV z průměrné teploty na vstupu do zásobníku na požadovanou teplotu pomocí elektrického topného tělesa	[h]
τ_h	dobu potřebná k pokrytí tepelných ztrát objektu a k přehřevu TV	[h]
τ_L	dobu potřebná k ohřevu TV z průměrné teploty na vstupu do zásobníku na požadovanou teplotu pomocí celého topného	

Zkratky

<i>NT</i>	nízký tarif účtování elektřiny
<i>TČ</i>	tepelné čerpadlo
<i>TV</i>	teplá voda
<i>TZL</i>	tuhé znečišťující látky
<i>VT</i>	vysoký tarif účtování elektřiny

1. Úvod

V současnosti dochází ke stálému růstu cen energií, není proto divu, že se každá domácnost snaží ušetřit na běžných výdajích. Největší náklady představuje zajištění vytápění a příprava teplé vody. U starších staveb lze tyto úspory zajistit zateplením a pořízením plastových oken s izolačními skly, u novostaveb je s cílem nízkých nákladů (nejen u pasivních či nízkoenergetických domů, ale i u běžných staveb) počítáno v samotném projektu.

Jednou z možností, jak snížit tyto výdaje, je pořídit si tepelné čerpadlo, které spolu s výhodným tarifem sníží celkové náklady na provoz domácnosti. Tepelné čerpadlo může jako nízkopotenciální zdroj tepla využívat zemi, vodu nebo vzduch.

V případě využití tepla ze země je nutné instalovat horizontální kolektor nebo vrty. Horizontální kolektor sice zabírá velkou plochu, jeho instalace je však levnější než hloubení vrtů, které musí být značně hluboké, aby zajistily potřebný výkon (na 1 kW je potřeba 12 až 18 m hloubky vrtu).

V případě využití tepla z vody je možné uvažovat buď o využití povrchových vod, nebo spodních vod. Teplota povrchové vody se mění jak v průběhu roku, tak i dne a s ní se mění i topný faktor tepelného čerpadla. Teplota spodní vody je oproti tomu relativně stálá, spodní voda se však musí čerpat pomocí ponorných čerpadel, které také snižují celkový topný faktor. Navíc ne ve všech lokalitách je dostatek vody.

Posledním možným zdrojem tepla je okolní vzduch. Tepelné čerpadlo vzduch – voda nebo vzduch – vzduch je možné instalovat téměř všude, ale jeho topný faktor je silně ovlivněn teplotou okolního vzduchu. Navíc při teplotách venkovního vzduchu kolem 0°C dochází k namrzání výparníku a tím ke snížení přestupu tepla a tepelné čerpadlo musí čas od času přejít do režimu odmrazování.

Cílem této diplomové práce je posoudit možnosti vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem a stanovit návratnost systému oproti současnému stavu, kdy je dům vytápěn zemním plynem.

2. Popis budovy

Rodinný dům, pro který navrhují tepelné čerpadlo (TČ), se nachází v obci Nový Malín asi jeden kilometr od Šumperka v nadmořské výšce 340 m n. m. Dům je obýván čtyřčlennou rodinou.

Vnější stěny objektu tvoří obvodové zdivo Porotherm 44 P+D a kontaktní zateplovací systém s tloušťkou polystyrenu 100 mm, přesnější popis – viz příloha č. 1.

V současnosti je jako zdroj tepla používán nízkoteplotní plynový kotel pro vytápění i přípravu teplé vody (TV), majitelé však uvažují o možnosti vytápění pomocí tepelného čerpadla. Dům má dvě nadzemní podlaží, je částečně podsklepen, suterén je využíván jako garáž.

3. Výpočet tepelných ztrát

Výpočet tepelných ztrát objektu jsem provedl obálkovou metodou podle normy ČSN 06 0210 a ČSN 73 0540 – 3:1994. Předpokládal jsem sdílení tepla s okolím, ne mezi jednotlivými místnostmi. Tepelné ztráty charakterizuje následující tabulku, výpočet ztrát proveden v Excelu, viz příloha č. 1:

Tab. 3.1: Vypočtené tepelné ztráty jednotlivých podlaží

Suterén						
Číslo místnosti	Účel	S_p [m ²]	Q_0 [W]	Q_p [W]	Q_v [W]	Q_c [W]
0.01	Garáž	30,5	1478,639	1779,749	290,983	2090,732
0.02	Chodba + schodiště	7,2	116,007	133,367	11,960	145,327
Celková tepelná ztráta suterénu $Q_{c,s}$ [W]						2236,059
1. NP						
Číslo místnosti	Účel	S_p [m ²]	Q_0 [W]	Q_p [W]	Q_v [W]	Q_c [W]
1.01	Obývací pokoj + K. K.	42,9	1218,525	1431,543	704,122	2135,664
1.02	Spíž	3	64,855	67,828	42,250	110,078
1.03	Koupelna + WC	4,1	149,526	159,484	71,854	231,338

1.04	Technická místnost	4,2	166,937	198,610	63,093	261,703
1.05	Zádveří	4,7	206,371	244,303	86,880	331,183
1.06	Chodba + schodiště	5,4	90,430	104,183	139,143	243,326
1.07	Pracovna	12,4	323,870	361,606	204,068	565,673
Celková tepelná ztráta 1. NP $Q_{C,1.NP}$ [W]						3878,965
2. NP						
Číslo místnosti	Účel	S_p [m ²]	Q_0 [W]	Q_p [W]	Q_v [W]	Q_c [W]
2.01	Dětský pokoj 1	20,1	334,783	347,522	280,630	628,152
2.02	Šatna	7,4	69,258	68,163	88,099	156,262
2.03	Ložnice	16,2	302,629	314,718	222,884	537,603
2.04	Koupelna	8,4	222,970	245,696	128,541	374,237
2.05	WC	1,5	21,475	24,572	20,990	45,563
2.06	Komora	3,3	32,856	36,971	65,169	102,140
2.07	Chodba + schodiště	11,2	67,085	75,341	138,232	213,573
2.08	Dětský pokoj 2	13,8	285,801	311,911	191,388	503,298
Celková tepelná ztráta 2. NP $Q_{C,2.NP}$ [W]						2560,828

S_p [m²] – plocha podlahy

\dot{Q}_0 [W] – základní tepelná ztráta místnosti

\dot{Q}_p [W] – tepelná ztráta prostupem tepla (započteny přírážky na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí a světovou stranu)

\dot{Q}_v [W] – tepelná ztráta větráním

\dot{Q}_c [W] – celková tepelná ztráta

3.1. Příklad výpočtu tepelné ztráty místnosti č. 1.01 – obývací pokoj + K. K.

3.1.1. Součinitel prostupu tepla

Výpočet součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{l_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} [W/m^2 \cdot K] \quad (3.1)$$

kde $\alpha_1 [W/(m^2 \cdot K)]$ – součinitel přestupu tepla vnitřního prostředí

$\alpha_2 [W/(m^2 \cdot K)]$ – součinitel přestupu tepla vnějšího prostředí

$l_i [m]$ – tloušťka i-té vrstvy

$\lambda_i [W/(m \cdot K)]$ – součinitel tepelné vodivosti i-té vrstvy

Po dosazení dostanu pro obvodovou stěnu – vnitřní omítka:

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,01}{0,75} + \frac{0,44}{0,16} + \frac{0,02}{0,8} + \frac{0,1}{0,038} + \frac{0,01}{0,8} + \frac{0,01}{0,8} + \frac{1}{23}} = 0,178 [W/(m^2 \cdot K)]$$

Stejný vztah použit při výpočtu dalších stavebních konstrukcí. Hodnoty součinitele prostupu tepla dalších konstrukcí a prvků dané místnosti uvedeny v následující tabulce:

Tab. 3.2: Hodnoty součinitele prostupu tepla pro jednotlivé stavební konstrukce a prvky

Stavební prvek	$K_j [W/(m^2 \cdot K)]$
Podlaha	0,443
Sokl	0,326
Obvodové stěny - vnitřní omítka	0,178
Obvodové stěny - obklad za linkou	0,177
Okno jednoduché	1,2
Okno dvojité	1,2
Francouzské okno	1,2

3.1.2. Výpočet základní tepelné ztráty

$$\dot{Q}_0 = \sum_{j=1}^n k_j \cdot S_j \cdot (t_i - t_e) [W] \quad (3.2)$$

kde $k_j [W/(m^2 \cdot K)]$ – součinitele prostupu tepla i-té konstrukce nebo konstrukčního prvku

$S_j [m^2]$ – plocha i-té konstrukce nebo konstrukčního prvku

$t_i [^\circ C]$ – vnitřní výpočtová teplota

t_e [°C] – vnější výpočtová teplota

Hodnoty ploch jednotlivých konstrukcí a prvků uvedeny v následující tabulce:

Tab. 3.3.: Plochy jednotlivých stavebních konstrukcí a prvků

Stavební prvek	Plocha S_j [m ²]
Podlaha	26,085
Sokl	2,730
Obvodové stěny - vnitřní omítka	26,214
Obvodové stěny - obklad za linkou	10,370
Okno jednoduché	2,610
Okno dvojité	2,175
Francouzské okno	9,988

Plocha podlahy nesouhlasí s tabulkou 1, protože část této místnosti leží nad suterénem. Pro mě je však důležité pouze sdílení tepla s okolím, nikoliv mezi místnostmi. Proto počítám pouze s plochou, která leží nad terénem a ne nad suterénem.

Po dosazení:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_0 &= 0,443 \cdot 26,085 + 0,326 \cdot 2,730 + 0,178 \cdot 26,214 + 0,177 \cdot 10,370 + 1,2 \cdot 2,610 \\ &\quad + 1,2 \cdot 2,175 + 1,2 \cdot 9,988 \cdot (21 - (-15)) = 1253,340 \text{ W}\end{aligned}$$

3.1.3. Výpočet ztráty tepla prostupem

$$\dot{Q}_P = \dot{Q}_0 \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) \text{ [W]} \quad (3.3)$$

Před výpočtem ztráty tepla prostupem je potřeba nejdřív spočítat průměrný součinitel prostupu tepla k_C všech konstrukcí dané místnosti:

$$k_C = \frac{\dot{Q}_0}{\sum S_j \cdot (t_i - t_e)} \text{ [W/(m}^2\text{/K)]} \quad (3.4)$$

Pro tuto místnost jsou hodnoty vnitřní a vnější teploty:

$$t_i = 20^\circ\text{C}$$

$$t_e = -15^\circ\text{C}$$

Po dosazení do (3.4):

$$k_c = \frac{1253,340}{(26,085 + 2,730 + 26,214 + 10,370 + 2,610 + 2,175 + 9,988) \cdot (21 - (-15))}$$

$$= 0,499 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Po té je možno určit přírážky:

- na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí p_1 [1]
- na urychlení zátoku p_2 [1] neuvažována – předpokládám nepřerušovaný provoz vytápění při výpočtových podmínkách
- na světovou stranu p_3 [1]

Výpočet přírážky na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí p_1 :

$$p_1 = 0,15 \cdot k_c = 0,15 \cdot 0,499 = 0,075 \text{ [1]} \quad (3.5)$$

Přírážku na světovou stranu určím z tabulky:

Tab. 3.4: Přírážka na světovou stranu

Světová strana	J	JZ	Z	SZ	S	SV	V	JV
p_3 [1]	-0,05	0	0	0,05	0,1	0,05	0,05	0

Vzhledem k tomu, že tato místnost má tři ochlazované stěny, volím největší přírážku, i když je místnost největší stěnou orientována na jih:

$$p_3 = 0,1$$

Výpočet ztráty tepla prostupem:

$$\dot{Q}_p = 1253,340 \cdot (1 + 0,075 + 0 + 0,1) = 1472,444 \text{ W}$$

3.1.4. Výpočet tepelné ztráty větráním

$$\dot{Q}_V = 1300 \cdot \dot{V}_V \cdot (t_i - t_e) [W] \quad (3.6)$$

kde $1300 = c_V [J/(m^3 \cdot K)]$ – měrná tepelná kapacita vzduchu

$\dot{V}_V [m^3/s]$ – objemový tok vzduchu

$t_i [^\circ C]$ – vnitřní výpočtová teplota

$t_e [^\circ C]$ – vnější výpočtová teplota

Za \dot{V}_V dosadím větší z hodnot \dot{V}_{VH} a \dot{V}_{VP} , viz dále.

Potřebný průtok větracího vzduchu \dot{V}_{VH} určím z rovnice:

$$\dot{V}_{VH} = \frac{n_h}{3600} \cdot V_m [m^3/s] \quad (3.7)$$

kde $n_h [h^{-1}]$ – intenzita výměny vzduchu

$V_m [m^3]$ – objem větrané místnosti

Intenzitu výměny vzduchu n_h volím podle hygienických požadavků:

$$n_h = 0,5 h^{-1}$$

Objem místnosti:

$$V_m = 67,821 m^3$$

Po dosazení:

$$\dot{V}_{VH} = \frac{0,5}{3600} \cdot 67,821 \doteq 0,009 m^3/s$$

Potřebný průtok větracího vzduchu \dot{V}_{VP} určím z rovnice:

$$\dot{V}_{VP} = \sum (i_{LV} \cdot L) \cdot B \cdot M [m^3/s] \quad (3.8)$$

kde $\sum (i_{LV} \cdot L) [m^3 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0.67}]$ – součet průvzdušnosti oken a venkovních dveří dané místnosti

$i_{LV} [m^3 \cdot s/m \cdot Pa^{-0.67}]$ – součinitel spárové průvzdušnosti oken a dveří

$L [m]$ – délka spár otevíratelných částí oken a venkovních dveří

$B [Pa^{-0,67}]$ – charakteristické číslo budovy

$M [1]$ – charakteristické číslo místnosti

Součinitel spárové průvzdušnosti všech oken a dveří:

$$i_{LV} = 6 \cdot 10^{-4} m^3 \cdot s/m \cdot Pa^{-0,67}$$

Délka spár otevíratelných částí oken a venkovních dveří:

$$L = 32,24 m$$

Budova stojí osaměle v normální krajině. Budova je nechráněná před větrem. S ohledem na tyto skutečnosti volím charakteristické číslo budovy:

$$B = 8 Pa^{-0,67}$$

Místnost má okna v protilehlých konstrukcích, proto volím charakteristické číslo místnosti:

$$M = 1 [1]$$

Po dosazení:

$$\dot{V}_{VP} = 6 \cdot 10^{-4} \cdot 32,24 \cdot 8 \cdot 1 = 0,015 m^3/s$$

Do rovnice tepelné ztráty větráním budu za \dot{V}_V dosazovat hodnotu \dot{V}_{VP} , protože $\dot{V}_{VP} = 0,015 > \dot{V}_{VH} = 0,009$, takže tepelná ztráta bude:

$$\dot{Q}_V = 1300 \cdot \dot{V}_{VP} \cdot (t_i - t_e) = 1300 \cdot 0,015 \cdot (21 - (-15)) = 742,239 W$$

3.2. Výpočet celkové tepelné ztráty

Celkovou tepelnou ztrátu místnosti vypočítám jako součet tepelné ztráty prostupem a větráním:

$$\dot{Q}_C = \dot{Q}_P + \dot{Q}_V = 1472,444 + 742,239 = 2135,664 W \quad (3.9)$$

Celkovou tepelnou ztrátu objektu jsem spočítal jako součet tepelných ztrát jednotlivých místností:

$$\dot{Q}_{C,RD} = \sum \dot{Q}_{C,i} = 8,637 kW \quad (3.10)$$

Tepelná ztráta na 1 m² obytné plochy:

$$\dot{Q}_{C,m^2} = \frac{\dot{Q}_{C,RD}}{S_{P,C}} [W/m^2] \quad (3.11)$$

kde $S_{P,C} [m^2]$ – celková podlahová plocha všech místností

Celková podlahová plocha všech místností je dána součtem podlahových ploch jednotlivých místností:

$$S_{P,C} = \sum S_{P,i} = 196,300 m^2 \quad (3.12)$$

Po dosazení do (3.11):

$$\dot{Q}_{C,m^2} = \frac{8637}{196,3} = 44.001 W/m^2$$

3.3. Roční spotřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát objektu

Roční spotřebu tepla určím na základě průměrných teplot v otopném období:

Tab. 3.5: Průměrná teplota v otopném období podle ČHMÚ pro Šumperk, 30-ti letý průměr

Měsíc [1]	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V
d [1]	15	31	30	31	31	28	31	30	15
t _{es} [°C]	12,1	8,1	-3,5	-0,6	-3	-1,9	2,3	7,8	11,9

Výpočet potřeby tepla:

$$\dot{Q}_{T,Wh/rok} = \sum \dot{Q}_{C,RD} \cdot d_i \cdot 24 \cdot \frac{(t_{ip} - t_{es,i})}{(t_{ip} - t_e)} [Wh/rok] \quad (3.13)$$

$$E_{T,J/rok} = 3600 \cdot \dot{Q}_{T,Wh/rok} [J/rok] \quad (3.14)$$

kde $\dot{Q}_{C,RD} [W]$ – tepelná ztráta rodinného domu

$d_i [1]$ – počet dní v měsíci s průměrnou teplotou $t_{es,i}$

$t_{ip} [°C]$ – průměrná teplota v objektu vztažená na obytnou plochu

$t_{es,i} [^{\circ}C]$ – průměrná venkovní teplota v měsíci

$t_e [^{\circ}C]$ – vnější výpočtová teplota

Celkový počet dní otopného období:

$$d_c = \sum d_i = 242 [1]$$

Tab. 3.6: Potřeba tepla pro pokrytí tepelných ztrát v jednotlivých měsících

Měsíc [1]	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V
Q_{Ti} [MWh]	0,683	2,152	4,159	3,761	4,206	3,615	3,225	2,136	0,701
E_{Ti} [GJ]	2,459	7,746	14,974	13,541	15,140	13,013	11,610	7,690	2,523

Výpočet pro září:

$$\dot{Q}_{T,září,Wh} = 8637 \cdot 15 \cdot 24 \cdot \frac{(19,729 - 12,1)}{(19,729 - (-15))} = 683031,538 Wh = 0,683 MWh$$

$$E_{T,září,J} = 3600 \cdot \dot{Q}_{T,září,Wh} = 3600 \cdot 698373,452 = 2458913536,468 J = 2,459 GJ$$

Výpočet potřeby tepla na vytápění:

$$\dot{Q}_{T,Wh/rok} = \sum \dot{Q}_{Ti,Wh} = 24637828,258 Wh/rok = 24,638 MWh/rok$$

$$E_{T,J/rok} = 3600 \cdot 24637828,258 = 88696181730,035 J = 88,696 GJ$$

V rodinném domě je instalováno podlahové vytápění pracující s teplotou topné vody $t_{V,topná} = 45^{\circ}C$ a teplotou vratné vody $t_{V,vratná} = 35^{\circ}C$.

3.4. Potřeba tepla na přípravu teplé vody

Teplá voda (TV) bude připravována v zásobníku TV předeřevem pomocí tepelného čerpadla (TČ). V zásobníku se dohřeje na požadovanou teplotu t_p pomocí elektrického topného tělesa.

Požadovaná teplota TV:

$$t_p = 60^{\circ}C$$

3.4.1. Potřeba tepla pro předehřev TV

Množství tepla potřebného pro předehřev vody pomocí TČ určím podle:

$$E_{předehřev,rok} = V_{TV} \cdot \rho_{TV} \cdot c_{p,TV} \cdot (t_{V,1} - t_{V,2}) [J/rok] \quad (3.15)$$

$$\dot{Q}_{předehřev,rok} = \frac{E}{3600} [Wh/rok] \quad (3.16)$$

$$\dot{Q}_{předehřev,den} = \frac{\dot{Q}_{TV,Wh/rok}}{365} [Wh/den] \quad (3.17)$$

$$P_{předehřev} = \frac{V_{TV,D} \cdot \rho_{TV} \cdot c_{p,TV} \cdot (t_{V,1} - t_{V,2})}{\tau} [W] \quad (3.18)$$

kde $V_{TV} [m^3]$ – potřebný objem TV za rok

$V_{TV,D} [m^3]$ – potřebný objem TV za den

$\rho_{TV} [kg/m^3]$ – hustota TV

$c_{p,TV} [kJ/(kg \cdot K)]$ – měrná tepelná kapacita TV

$t_{V,1} [^{\circ}C]$ – teplota předehřáté TV pomocí TČ

$t_{V,2} [^{\circ}C]$ – původní teplota vody na vstupu do zásobníku

$\tau [h]$ – doba potřebná pro předehřev vody

Veličina $P_{předehřev}$ charakterizuje část výkonu TČ, která je potřeba k předehřevu vody a nebude se tedy podílet na pokrytí tepelných ztrát objektu.

TČ bude předehřívát vodu v zásobníku na teplotu $t_{V,1}$:

$$t_{V,1} = 35^{\circ}C$$

Průměrná teplota vody na vstupu do zásobníku:

$$t_{V,2} = 10^{\circ}C$$

Hustota vody ρ_{TV} určena pomocí EES prostřední teplotu $t_{stř,TV}$:

$$t_{stř,TV} = \frac{(t_{V,1} + t_{V,2})}{2} = \frac{(35 + 10)}{2} = 22,5^{\circ}C \quad (3.19)$$

$$\rho_{TV} = 998 \text{ kg/m}^3$$

Měrná tepelná kapacita vody určena také pro střední teplotu pomocí EES:

$$c_{p,TV} = 4183 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

Dobu potřebnou pro přehřátí potřebného objemu vody τ volím:

$$\tau = 6 \text{ h}$$

Potřebný objem TV určím na základě počtu osob v domě a předpokládané spotřeby teplé vody na osobu a den $V_{OS,D}$:

$$V_{TV} = 365 \cdot n_{OS} \cdot V_{OS,D} [\text{m}^3/\text{rok}] \quad (3.20)$$

$$V_{TV,D} = n_{OS} \cdot V_{OS,D} [\text{m}^3/\text{den}] \quad (3.21)$$

kde 365 [1] – počet dní v roce

n_{OS} [1] – počet osob v domácnosti

$V_{OS,D} [\text{m}^3/(\text{osobu} \cdot \text{den})]$ – množství vody na osobu a den

V domě žijí čtyři lidé:

$$n_{OS} = 4 [1]$$

Množství vody na osobu a den volím $V_{OS,D}$:

$$V_{OS,D} = 0,082 \text{ m}^3/(\text{osobu} \cdot \text{den}) [7]$$

Výpočet potřebného objemu TV – dosazení do (3.20) a (3.21):

$$V_{TV} = 365 \cdot 4 \cdot 0,082 = 119,720 \text{ m}^3/\text{rok}$$

$$V_{TV,D} = 4 \cdot 0,082 = 0,328 \text{ m}^3/\text{den}$$

Množství energie potřebné pro přehřev vody pomocí TČ – dosazení do (3.15), (3.16), (3.17) a (3.18) :

$$E_{\text{přehřev,rok}} = 119,720 \cdot 998 \cdot 4183 \cdot (35 - 10) = 12,495 \cdot 10^9 \text{ J/rok}$$

$$\dot{Q}_{\text{přehřev,rok}} = \frac{12,495 \cdot 10^9}{3600} = 3,471 \cdot 10^6 \text{ Wh/rok}$$

$$\dot{Q}_{\text{přehřev,den}} = \frac{3,471 \cdot 10^6}{365} = 9509,598 \text{ Wh/den}$$

$$P_{\text{přehřev}} = \frac{0,328 \cdot 998 \cdot 4183 \cdot (35 - 10)}{6 \cdot 3600} = 1584,815 \text{ W}$$

3.4.2. Potřeba tepla pro dohřev TV

Teplo potřebné pro dohřev TV určím podle:

$$\dot{Q}_{dohřev,den} = \frac{m \cdot c_{p,dohřev} \cdot (t_P - t_{V,1})}{3600} [Wh/den] \quad (3.22)$$

$$\dot{Q}_{dohřev,den} = \frac{V_{TV,D} \cdot \rho_{TV,dohřev} \cdot c_{p,dohřev} \cdot (t_P - t_{V,1})}{3600} [Wh/den] \quad (3.23)$$

$$\dot{Q}_{dohřev,rok} = 365 \cdot \dot{Q}_{dohřev,den} [Wh/rok] \quad (3.24)$$

$$E_{dohřev,rok} = 3600 \cdot \dot{Q}_{dohřev,rok} [J/rok] \quad (3.25)$$

kde $\rho_{TV,dohřev} [kg/m^3]$ – hustota TV pro střední teplotu při dohřevu

$c_{p,dohřev} [J/(kg \cdot K)]$ – měrná tepelná kapacita TV při dohřevu

$t_P [^{\circ}C]$ – požadovaná teploty TV

Požadovaná teplota TV:

$$t_P = 60^{\circ}C$$

Střední teplota při dohřevu:

$$t_{stř,dohřev} = \frac{(t_P + t_{V,1})}{2} = \frac{(60 + 35)}{2} = 47,5^{\circ}C \quad (3.26)$$

Hustota vody $\rho_{TV,dohřev}$ určena pomocí EES prostřední teplotu $t_{stř,dohřev}$:

$$\rho_{TV,dohřev} = 989 \text{ kg/m}^3$$

Měrná tepelná kapacita vody určena také pro střední teplotu pomocí EES:

$$c_{p,dohřev} = 4181 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$$

Výpočet tepla potřebného pro dohřev TV – dosazení do (3.23), (3.24), (3.25):

$$\dot{Q}_{dohřev,den} = \frac{0,328 \cdot 989 \cdot 4181 \cdot (60 - 35)}{3600} = 9418,632 \text{ Wh/den}$$

$$\dot{Q}_{dohřev,rok} = 365 \cdot 9418,632 = 3437800,538 \text{ Wh/rok} = 3,438 \text{ MWh/rok}$$

$$E_{dohřev,rok} = 3600 \cdot 3437800,538 = 12376081937,0 \text{ J/rok} = 12,376 \text{ GJ/rok}$$

Voda v zásobníku TV bude dohřívána pomocí elektrického topného tělesa o výkonu:

$$P_{el} = \frac{\dot{Q}_{dohřev,den}}{\tau} = \frac{9418,632}{6} = 1569,772 \text{ W} \quad (3.27)$$

Na základě těchto výpočtů volím zásobník teplé vody RBC 400 firmy Regulus o objemu 400 l a s elektrickým topným tělesem Regulus o výkonu 2 kW [8].

Pokud by celý objem zásobníku mělo nahřívát pouze elektrické topné těleso za předpokládaných podmínek (průměrná teplota vody na vstupu do zásobníku $t_{v,2} = 10^\circ\text{C}$, požadovaná teplota $t_p = 60^\circ\text{C}$), voda v zásobníku TV by se ohřála za čas τ_c :

$$\tau_c = \frac{V_{zásobník,TV} \cdot \rho_{zásobník,TV} \cdot c_{p,zásobník,TV} \cdot (t_p - t_{v,2})}{3600 \cdot P_{el,zásobník,TV}} [h] \quad (3.28)$$

kde $V_{zásobník,TV} [m^3]$ – objem zvoleného zásobníku

$\rho_{zásobník,TV} [kg/m^3]$ – hustota TV v zásobníku pro střední teplotu vody v zásobníku

$c_{p,zásobník,TV} [kJ/(kg \cdot K)]$ – měrná tepelná kapacita TV v zásobníku pro střední teplotu vody v zásobníku

$P_{el,zásobník,TV} [kW]$ – výkon elektrického topného tělesa

Objem zásobníku $V_{zásobník,TV}$:

$$V_{zásobník,TV} = 400 \text{ l} = 0,4 \text{ m}^3$$

Střední teplota vody v zásobníku $t_{stř,zásobník,TV}$:

$$t_{stř,zásobník,TV} = \frac{(t_p + t_{v,2})}{2} = \frac{(60 + 10)}{2} = 35^\circ\text{C} \quad (3.29)$$

Hustota vody v zásobníku $\rho_{zásobník,TV}$ určena pomocí EES pro střední teplotu $t_{stř,zásobník,TV}$:

$$\rho_{zásobník,TV} = 994 \text{ kg/m}^3$$

Měrná tepelná kapacita vody určena také pro střední teplotu pomocí EES:

$$c_{p,zásobník,TV} = 4,183 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$$

Po dosazení do (3.28):

$$\tau_c = \frac{0,4 \cdot 994 \cdot 4183 \cdot (60 - 10)}{3600 \cdot 2000} = 11,550 \text{ h}$$

3.5. Celková potřeba tepla

Celková potřeba tepla je dána součtem potřeby tepla na pokrytí tepelných ztrát objektu a potřeby tepla na přípravu TV:

$$\dot{Q}_{CT} = \dot{Q}_{T,Wh/rok} + \dot{Q}_{předehřev,rok} + \dot{Q}_{dohřev,rok} [MWh/rok] \quad (3.30)$$

$$E_{CT} = E_{T,J/rok} + E_{předehřev,rok} + E_{dohřev,rok} [GJ/rok] \quad (3.31)$$

Po dosazení do (3.30) a (3.31):

$$\dot{Q}_{CT} = 24,638 + 3,471 + 3,438 = 31,547 \text{ MWh/rok}$$

$$E_{CT} = 88,696 + 12,495 + 12,376 = 113,567 \text{ GJ/rok}$$

3.5.1. Návrh expanzní nádoby

Expanzní nádoba slouží pro vyrovnávání zvýšení tlaku v otopné soustavě vlivem nárůstu objemu vody, způsobené zvýšením její teploty. Zabraňuje tak zvyšování tlaku v soustavě. Expanzní nádoba je umístěna na vratném potrubí. Návrh proveden podle [8].

Výpočet objemu expanzní nádoby:

$$V_{en} = \frac{1,3 \cdot V_0 \cdot n}{\eta} [l] \quad (3.32)$$

kde $V_0 [l]$ – objem vody v celé otopné soustavě

$n [1]$ – součinitel zvětšení objemu

$\eta [1]$ – stupeň využití expanzní nádoby

Součinitel zvětšení objemu n volím:

$$n = 0,00749$$

Objem vody v celé otopné soustavě V_0 :

$$V_0 = v \cdot Q_{C, RD} [l] \quad (3.33)$$

kde $v [l/kW]$ – směrná hodnota vodního obsahu otopné soustavy

$Q_{C, RD} [kW]$ – celková tepelná ztráta objektu

Směrná hodnota vodního obsahu otopné soustavy v má pro podlahové vytápění hodnotu:

$$v = 25 \text{ l/kW}$$

Výpočet objemu vody v celé otopné soustavě – dosazení do (3.33):

$$V_0 = 25 \cdot 8,831 = 220,775 \text{ l}$$

Stupeň využití expanzní nádoby stanovím ze vztahu:

$$\eta = \frac{p_{h, dov} - p_d}{p_{h, dov}} [1] \quad (3.34)$$

kde $p_{h, dov} [Pa]$ – nejvyšší dovolený absolutní tlak

$p_d [Pa]$ – hydrostatický absolutní tlak

Nejvyšší dovolený absolutní tlak $p_{h, dov}$ je roven otevíracímu absolutnímu tlaku pojišťovacího ventilu:

$$p_{h, dov} = 350000 \text{ Pa} = 350 \text{ kPa}$$

Hydrostatický absolutní tlak je roven součtu hydrostatického tlaku vyvozeného sloupcem vody v soustavě a barometrického tlaku:

$$p_d = p_h + p_b [Pa] \quad (3.35)$$

kde $p_h [Pa]$ – hydrostatický tlak vyvozený sloupcem vody v soustavě

$p_b [Pa]$ – barometrický tlak

Hydrostatický tlak vyvozený sloupcem vody v soustavě:

$$p_h = h \cdot \rho \cdot g [Pa] \quad (3.36)$$

kde $h [m]$ – výška vodního sloupce nad expanzní nádobou

$\rho [kg/m^3]$ – hustota vratné topné vody

$g [m/s^2]$ – gravitační zrychlení

Výška vodního sloupce nad expanzní nádobou je dána konstrukčním uspořádáním otopného systému, kde tepelné čerpadlo, akumulární nádrž i nádrž na TV jsou umístěny v suterénu a topné okruhy jsou dva – jeden pro přízemí, druhý pro podkroví.

$$h = 5,590 \text{ m}$$

Hustotu vratné vody určím pomocí EES pro teplotu vratné vody $t_{v,vratná} = 35^\circ\text{C}$:

$$\rho = 994 [kg/m^3]$$

Gravitační zrychlení má hodnotu:

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Hydrostatický tlak p_h vyvozený sloupcem vody v soustavě – dosazení do (3.36):

$$p_h = 5,590 \cdot 994 \cdot 9,81 = 54508,873 \text{ Pa} = 54,509 \text{ kPa}$$

Volím hodnotu barometrického tlaku p_b za normálních podmínek:

$$p_b = 101325 \text{ Pa}$$

Hydrostatický absolutní tlak p_d – dosazení do (3.35):

$$p_d = 54508,873 + 101325 = 155833,873 \text{ Pa} = 155,834 \text{ kPa}$$

Výpočet stupně využití expanzní nádoby η – dosazení do (3.34):

$$\eta = \frac{350 - 155,834}{350} = 0,555$$

Výpočet objemu expanzní nádoby V_{en} – dosazení do (3.32):

$$V_{en} = \frac{1,3 \cdot 220,775 \cdot 0,00749}{0,555} = 3,875 \text{ l}$$

Volím expanzní nádobu Reflex N 8/6 firmy Reflex o objemu 8 l a maximálním přetlaku 6 bar [9].

3.5.2. Návrh oběhových čerpadel

Oběhová čerpadla zajišťují cirkulaci vody v otopném systému s nuceným oběhem.

Potřebný objemový průtok topné vody stanovím pomocí tepelných ztrát objektu:

$$\dot{V}_{o\check{c}} = \frac{3600 \cdot \dot{Q}_{C,DR}}{\rho_{OS} \cdot c_{p,OS} \cdot (t_{V,topná} - t_{V,vratná})} [m^3/h] \quad (3.37)$$

kde $\dot{Q}_{C,DR} [kW]$ – celková tepelná ztráta rodinného domu

$\rho_{OS} [kg/m^3]$ – hustota vody v otopné soustavě

$c_{p,OS} [kJ/(kg \cdot K)]$ – měrná tepelná kapacita vody v otopné soustavě

$t_{V,topná} [^{\circ}C]$ – teplota topné vody

$t_{V,vratná} [^{\circ}C]$ – teplota vratné vody

Hustota vody a měrná tepelná kapacita vody v otopné soustavě stanoveny pomocí EES pro střední teplotu topné vody.

Střední teplota topné vody:

$$t_{stř,OS} = \frac{(t_{V,topná} + t_{V,vratná})}{2} = \frac{(45 + 35)}{2} = 40^{\circ}C \quad (3.38)$$

Hustota vody v otopné soustavě:

$$\rho_{OS} = 992 \text{ kg}/m^3$$

Měrná tepelná kapacita vody v otopné soustavě:

$$c_{p,OS} = 4,182 \text{ kJ}/(kg \cdot K)$$

Po dosazení do (3.37):

$$\dot{V}_{o\check{c}} = \frac{3600 \cdot 8,831}{992 \cdot 4,182 \cdot (45 - 35)} = 0,766 [m^3/h]$$

Mezi TČ a akumulární nádrž volím oběhové čerpadlo Aquacup GRS 25-40 s maximálním průtokem 2,4 m³/h a dopravní výškou 6 m [10].

Mezi TČ a zásobník TV volím oběhové čerpadlo Sea-Land CKR 130/45 s maximálním průtokem 2 m³/h a dopravní výškou 4 m [11].

Pro topné okruhy I a II volím dvě stejná oběhová čerpadla Aquacup GRS 25-40 s maximálním průtokem $2,4 \text{ m}^3/\text{h}$ a dopravní výškou 6 m [10].

Na základě objemu vody v otopném systému volím akumulční nádrž Regulus PS2F 300 o objemu 300 l [8].

Do něj volím elektrické topné těleso Regulus o výkonu 3 kW. Toto topné těleso je (spolu s TČ) schopno dodávat dostatek tepla až do venkovní teploty zhruba -20°C [8].

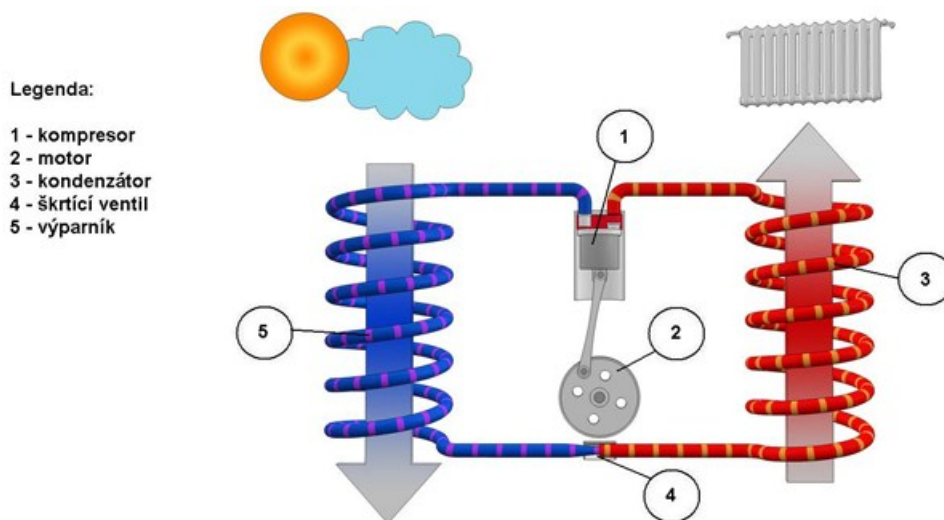
4. Návrh tepelného čerpadla

4.1. Princip

Tepelné čerpadlo pracuje na principu povyšování nízkopotenciálního tepla, odebíraného ze zdroje, na vysokopotenciální teplo pomocí elektrické energie.

Základem každého tepelného čerpadla jsou čtyři části: kompresor, kondenzátor, expanzní ventil a výparník. Tyto části vytvářejí oběh, kterým proudí vhodné chladivo (nejčastěji R134a, R404a, R407C, R410A).

Chladivo je o nízké teplotě ve formě par nasáváno do kompresoru, kde dojde ke kompresi, růstu teploty a tedy i entalpie. Pak proudí do kondenzátoru, ve kterém se ochladí, zkondenzuje a podchladí (o několik málo K), čímž předá značnou část tepla vodě, sloužící k topení a předehřevu teplé vody. Následně proudí do expanzního ventilu, který sníží tlak chladiva a vstříkne jej do výparníku. V něm se chladivo vypařuje a přehřívá (o několik málo K) odebíráním tepla teplotonosné látky (etylenglykol, primární voda).



Obr 4.1.1: Princip funkce tepelného čerpadla

U tepelného čerpadla jsou nejdůležitějšími hodnotami topný výkon (tedy kolik tepla je schopno dodávat) a topný faktor, který udává, jak efektivně dokáže tepelné čerpadlo pracovat.

Tepelná čerpadla se dají rozlišovat podle toho, jaký zdroj tepla používají a podle média, kterým zajišťují vytápění, případně i přehřev teplé vody. Zdrojem nízkopotenciálního tepla může být země, voda nebo vzduch, médiem může být voda nebo vzduch. Tepelná čerpadla se pak označují:

- země – voda
- země – vzduch
- voda – voda
- voda – vzduch
- vzduch – voda
- vzduch – vzduch

Topný výkon navrhovaného TČ je 8 kW, výstupní teplota topné vody 50°C, vstupní teplota primární vody 10°C.

Teplotu vratné vody z topného okruhu na vstupu do TČ volím $t_{vratná} = 35^{\circ}\text{C}$, teplotu výstupní vody na primární straně volím $t_{voda,2} = 5^{\circ}\text{C}$.

Jako zdroj vody bude sloužit podzemní voda čerpaná z vrtu o hloubce 20 m. Po průchodu výparníkem bude vrácena do země pomocí vsakovacího vrtu o stejné hloubce.

4.2. Výpočet oběhu tepelného čerpadla

Jako chladivo volím chladivo R407C. Jedná se o zeotropní chladivo, jehož charakteristickou vlastností je to, že má tzv. teplotní skluz – teplota během kondenzace a vypařování není konstantní.

Na základě požadované teploty topné vody $t_{topná} = 50^{\circ}\text{C}$ a teplotě podzemní vody na primární straně $t_{voda,1} = 10^{\circ}\text{C}$ volím tyto hodnoty:

Kondenzační teplota:	$T_K = 55^{\circ}\text{C}$
Teplota vypařování:	$T_0 = 5^{\circ}\text{C}$
Podchlazení v kondenzátoru:	$\Delta T_K = 3^{\circ}\text{C}$
Přehřátí ve výparníku:	$\Delta T_V = 3^{\circ}\text{C}$

Podchlazení v kondenzátoru zajistí (spolu se sběračem kapaliny) to, aby na expanzní ventil přicházela pouze kapalina zbavená všech bublinek páry.

Přehřátí ve výparníku pak funguje jako ochrana kompresoru před možným nasátím kapiček chladiva.

Následující hodnoty tlaků a entalpií chladiva získány výpočtem v programu Engineering Equation Solver (EES), výpis z programu viz příloha č. 2:

Vypařovací tlak:

$$p_0 = 539,5 \text{ kPa}$$

Kondenzační tlak:

$$p_K = 2230 \text{ kPa}$$

Hodnota entalpie páry na vstupu do kompresoru:

$$h_1 = 278,1 \text{ kJ/kg}$$

Teoretická hodnota entalpie páry po kompresi v kompresoru ($\eta_{kompresoru} = 100\%$):

$$h_{2,ie} = 307,7 \text{ kJ/kg}$$

Skutečná hodnota entalpie páry po kompresi v kompresoru ($\eta_{kompresoru} = 70\%$):

$$h_2 = 323,1 \text{ kJ/kg}$$

Hodnota entalpie kapaliny na konci kondenzace a podchlazení v kondenzátoru:

$$h_3 = 134,6 \text{ kJ/kg}$$

Hodnota entalpie mokré páry po expanzi na expanzním ventilu:

$$h_4 = h_3 = 134,6 \text{ kJ/kg}$$

Výpočet teoretické hmotové topivosti:

$$q_{T,t} = h_{2,ie} - h_3 = 307,7 - 134,6 = 173,0 \text{ kJ/kg} \quad (4.1)$$

Výpočet skutečné hmotové topivosti:

$$q_T = h_2 - h_3 = 323,1 - 134,6 = 188,4 \text{ kJ/kg} \quad (4.2)$$

Výpočet hmotové chladivosti:

$$q_0 = h_1 - h_4 = 278,1 - 134,6 = 137,1 \text{ kJ/kg} \quad (4.3)$$

Výpočet teoretické měrné práce kompresoru:

$$a_t = h_{2,ie} - h_1 = 307,7 - 278,1 = 35,89 \text{ kJ/kg} \quad (4.4)$$

Výpočet skutečné měrné práce kompresoru:

$$a = h_2 - h_1 = 323,1 - 278,1 = 51,28 \text{ kJ/kg} \quad (4.5)$$

Hodnotu hmotového toku chladiva získám ze znalosti požadovaného topného výkonu TČ $\dot{Q}_T = 8 \text{ kW}$ a z hodnoty hmotové topivosti:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_T}{q_T} = \frac{8}{188,4} = 0,043 \text{ kg/s} \quad (4.6)$$

Výpočet chladicího výkonu:

$$\dot{Q}_{0,TČ} = \dot{m} \cdot q_0 = 0,043 \cdot 137,1 = 5,823 \text{ kW} \quad (4.7)$$

Výpočet teoretického příkonu kompresoru:

$$P_{kompresoru,t} = \dot{m} \cdot a_t = 0,043 \cdot 35,89 = 1,524 \text{ kW} \quad (4.8)$$

Výpočet příkonu kompresoru:

$$P_{kompresoru} = \dot{m} \cdot a = 0,043 \cdot 51,28 = 2,177 \text{ kW} \quad (4.9)$$

Výpočet teoretického topného faktoru:

$$\varepsilon_{T,t} = \frac{q_{T,t}}{a_t} = \frac{173,0}{35,89} = 4,821 [1] \quad (4.10)$$

Výpočet topného faktoru:

$$\varepsilon_T = \frac{q_T}{a} = \frac{188,4}{51,28} = 3,675 [1] \quad (4.11)$$

Výpočet chladicího faktoru:

$$\varepsilon_0 = \frac{q_0}{a} = \frac{137,1}{51,28} = 2,675 [1] \quad (4.12)$$

Výpočet kompresního poměru:

$$\sigma = \frac{p_K}{p_0} = \frac{2230}{539,5} = 4,133 [1] \quad (4.13)$$

Výpočet čerpacího poměru:

$$\varphi = \frac{\dot{Q}_T}{\dot{Q}_{0,T\check{c}}} = \frac{8}{5,823} = 1,374 [1] \quad (4.14)$$

Provedení kontroly:

$$Kontrola = Q_T - (Q_{0,T\check{c}} + P_{kompresoru}) = 8 - (5,823 + 2,177) = 0,000 [kW] \quad (4.15)$$

Teploty v uzlových bodech oběhu získány pomocí EES.

Teplota páry na vstupu do kompresoru je rovna součtu vypařovací teploty a přehřátí na výparníku. Aby fungoval přenos tepla ze zdroje – primární voda do chladiva, musí být tato teplota nižší než teplota primární vody na vstupu do TČ ($t_{voda,1} = 10^\circ C$):

$$T_1 = T_0 + \Delta T_V = 5 + 3 = 8^\circ C < t_{voda,1} = 10^\circ C$$

Teoretická teplota páry po kompresi v kompresoru ($\eta_{kompresoru} = 100\%$):

$$T_{2,ie} = 72,38^{\circ}\text{C}$$

Skutečná teplota páry po kompresi v kompresoru ($\eta_{kompresoru} = 70\%$):

$$T_2 = 86,31^{\circ}\text{C}$$

Teplota páry na začátku kondenzace:

$$T_{02} = T_K = 55^{\circ}\text{C}$$

Teplota kapaliny na konci kondenzace:

$$T_{03} = 50,6^{\circ}\text{C}$$

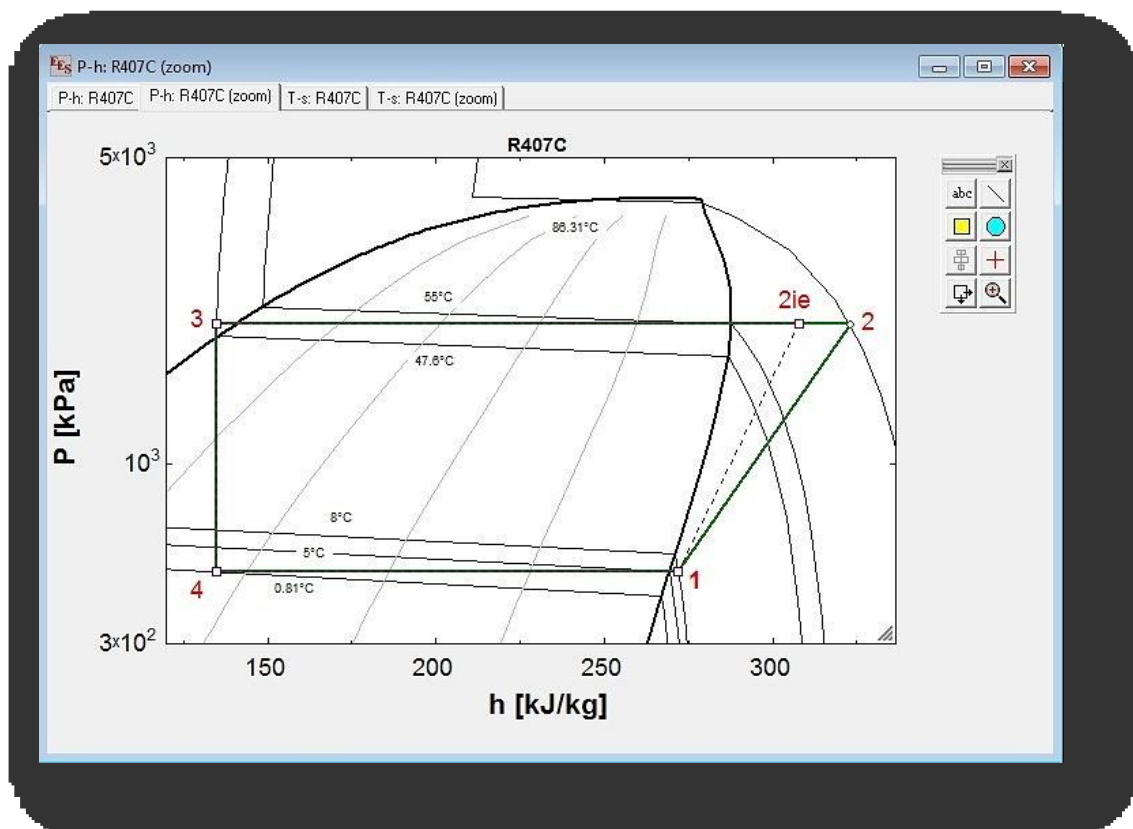
Teplota kapaliny po podchlazení v kondenzátoru o $\Delta T_K = 3^{\circ}\text{C}$:

$$T_3 = T_{03} - \Delta T_K = 50,6 - 3 = 47,6^{\circ}\text{C}$$

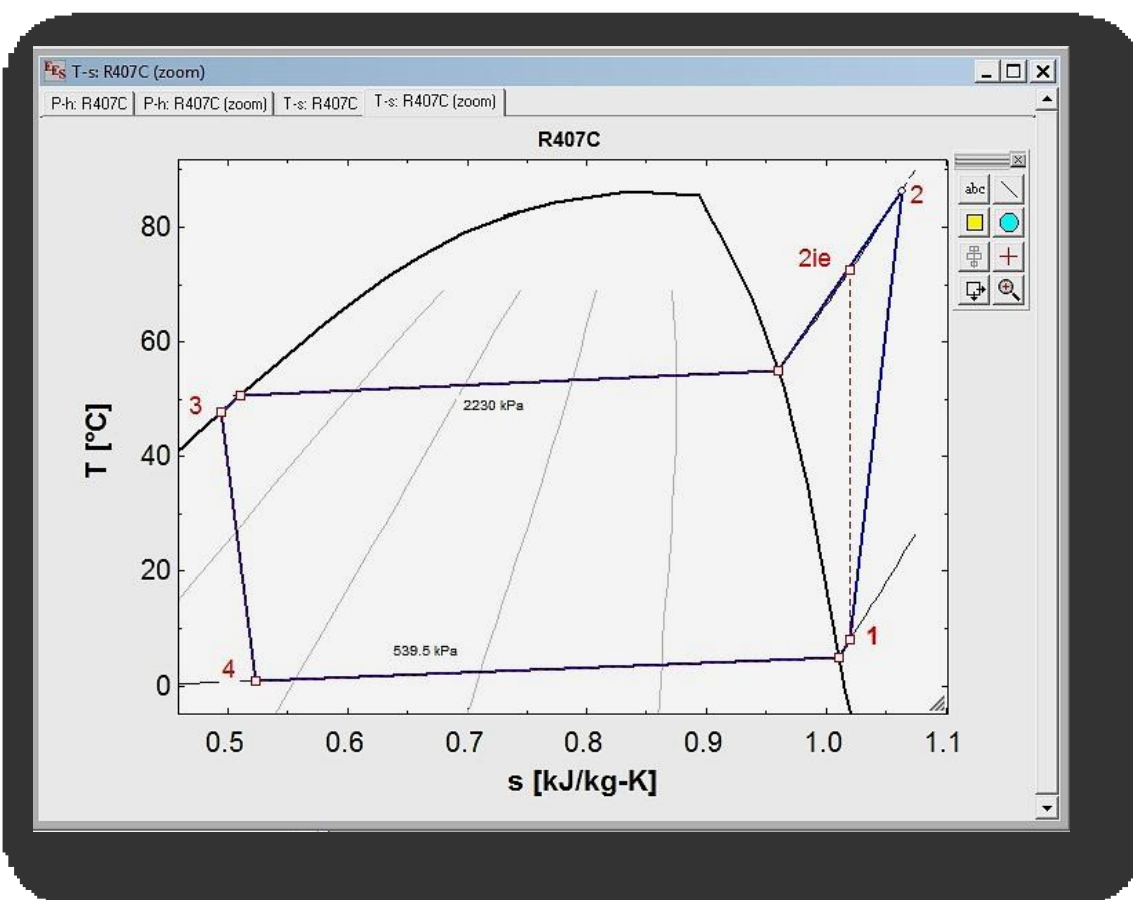
Teplota mokré páry po expanzi na expanzním ventilu:

$$T_4 = 0,81^{\circ}\text{C}$$

Je vhodné, aby tato teplota byla vyšší než 0°C . Důvodem je hrozba zamrznutí primární vody ve výparníku při výpadku čerpadla primární vody a výpadku ochrany TČ – vypnutí kompresoru.



Obr. 4.1: Vypočtený p - i diagram oběhu tepelného čerpadla s chladivem R407C



Obr. 4.2: Vypočtený T - s diagram oběhu tepelného čerpadla s chladivem R407C

4.3. Výpočet průměrů potrubí TČ

Doporučená rychlost proudění chladiva v jednotlivých potrubích podle [1]:

Sací potrubí:	$w_{sání} = 4 \div 10 \text{ m/s}$
Výtlačné potrubí:	$w_{výtlak} = 8 \div 12 \text{ m/s}$
Kapalinové potrubí:	$w_{kapalina} = 0,4 \div 0,8 \text{ m/s}$

Volím tyto hodnoty rychlostí:

Sací potrubí:	$w_{sání} = 6 \text{ m/s}$
Výtlačné potrubí:	$w_{výtlak} = 10 \text{ m/s}$
Kapalinové potrubí:	$w_{kapalina} = 0,6 \text{ m/s}$

Hustota chladiva v jednotlivých potrubích zjištěna pomocí EES na základě teploty a tlaku chladiva:

Hustota par v sání kompresoru:	$\rho_{sání} = 22,06 \text{ kg/m}^3$
Hustota par na výtlaku kompresoru:	$\rho_{výtlak} = 79,66 \text{ kg/m}^3$
Hustota kapaliny na výstupu z kondenzátoru:	$\rho_{kapalina} = 1035 \text{ kg/m}^3$

Výpočet objemových toků v jednotlivých potrubích:

Sací potrubí:

$$\dot{V}_{sání} = \frac{\dot{m}}{\rho_{sání}} = \frac{0,043}{22,06} = 1,924 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \quad (4.16)$$

Výtlačné potrubí:

$$\dot{V}_{výtlak} = \frac{\dot{m}}{\rho_{výtlak}} = \frac{0,043}{79,66} = 5,33 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \quad (4.17)$$

Kapalinové potrubí:

$$\dot{V}_{kapalina} = \frac{\dot{m}}{\rho_{kapalina}} = \frac{0,043}{1035} = 4,103 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \quad (4.18)$$

kde $\dot{m} [kg/s]$ – hmotový tok chladiva

Průměry jednotlivých potrubí určím ze znalosti objemových toků a zvolených rychlostí úpravou následující rovnice:

$$\dot{V} = S \cdot w = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot w$$

Sací potrubí:

$$d_{sání} = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}_{sání}}{\pi \cdot w_{sání}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,924 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 6}} = 20,21 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad (4.19)$$

Výtlačné potrubí:

$$d_{výtlač} = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}_{výtlač}}{\pi \cdot w_{výtlač}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,33 \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot 10}} = 10,64 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad (4.20)$$

Kapalinové potrubí:

$$d_{kapalina} = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}_{kapalina}}{\pi \cdot w_{kapalina}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,103 \cdot 10^{-5}}{\pi \cdot 0,6}} = 9,331 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad (4.21)$$

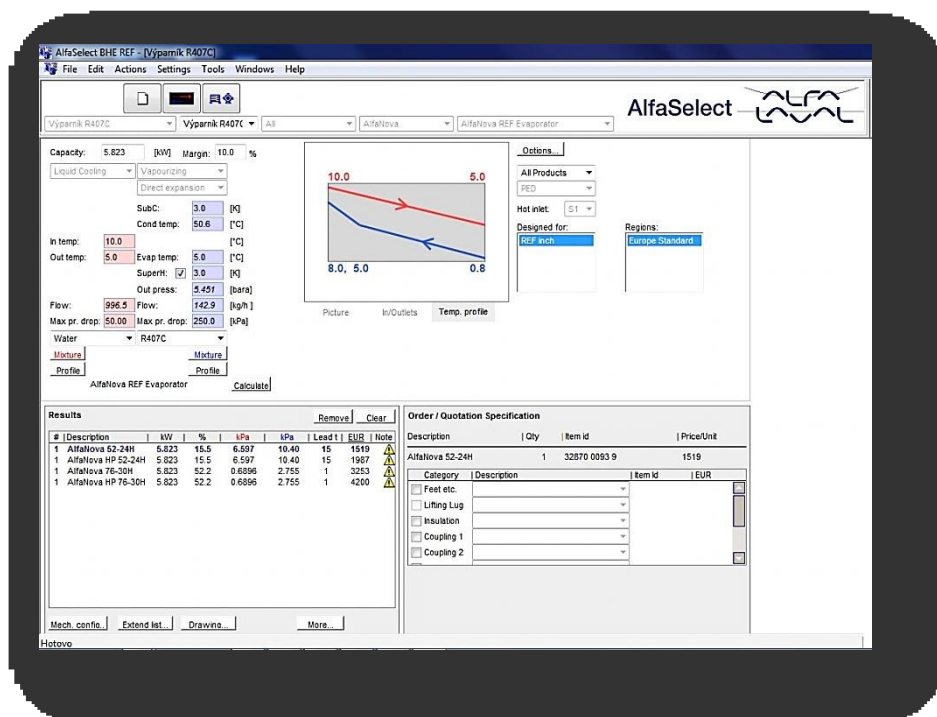
Volím následující průměry potrubí:

Sací potrubí:	$d_{sání} = 22 \times 1 \text{ mm}$
Výtlačné potrubí:	$d_{výtlač} = 12 \times 1 \text{ mm}$
Kapalinové potrubí:	$d_{kapalina} = 12 \times 1 \text{ mm}$

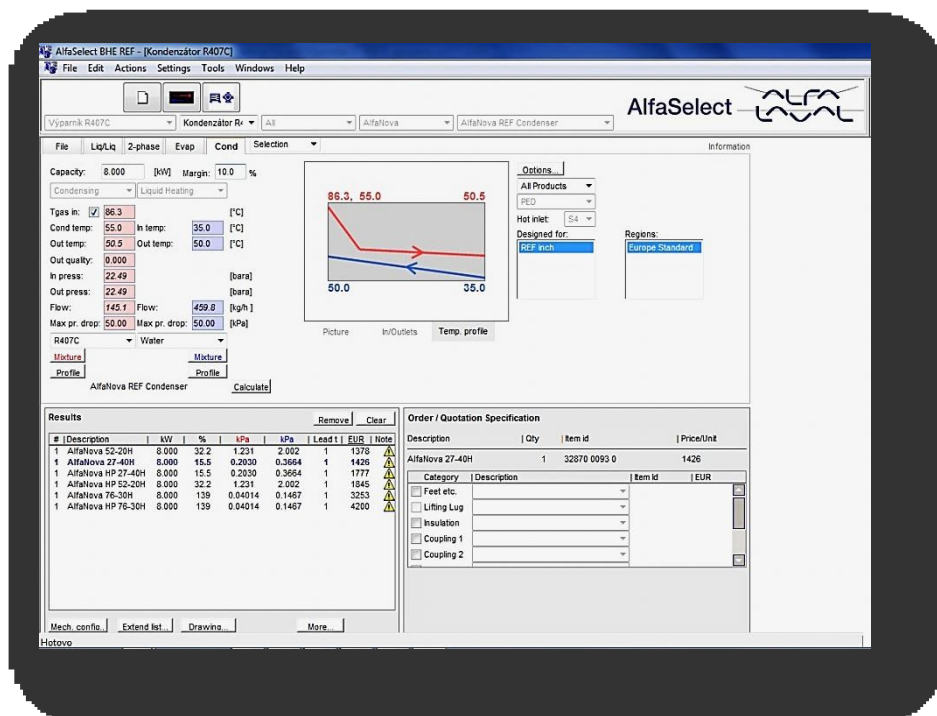
4.4. Volba jednotlivých dílů tepelného čerpadla

4.4.1. Návrh výměníků tepla

Návrh výměníků jsem provedl pomocí programu AlfaSelect společnosti Alfa Laval na základě znalosti teplot v oběhu a potřebného tepelného a chladicího výkonu. Zvolil jsem deskové výměníky AlfaNova 52 – 24H (výparník) a AlfaNova 27 – 40H (kondenzátor).



Obr. 4.3: Prostředí návrhového programu AlfaSelect firmy Alfa Laval. Návrh výparníku.



Obr. 4.4: Prostředí návrhového programu AlfaSelect. Návrh kondenzátoru.

4.4.2. Výběr kompresoru

Kompresory typu scroll se vyznačují tichým chodem, odolností proti případnému nasátí kapalného chladiva a vyšší objemovou účinností díky výraznému zmenšení

škodlivého prostoru. Toho je dosaženo speciální konstrukcí kompresoru, jejímž základem jsou dvě do sebe vložené kovové spirály, z nichž horní je pevná, uprostřed opatřená otvorem spojeným s výtlačnou trubicí. Dolní spirála je pohyblivá, krouží v horní pomocí excentru umístěného na hřídeli motoru. Tím se mezi spirálami v místech s různým zakřivením vytvářejí plynové kapsy, které se pohybují směrem do středu, zmenšují svůj objem a zvyšují tlak.

Volím kompresor typu scroll ZH21K4E – TFR 522 firmy Copeland [12].

Legenda označení:

Z – řada kompresoru (scroll)

H – pracovní rozsah (tepelné čerpadlo)

21K – jmenovitý chladicí výkon (v BTU/h)

4 – model

E – polyesterový olej

TFR – provedení elektromotoru (220/240V, 3 fáze, 50Hz)

522 – připojení kompresoru (pájecí hrdla)

Výkonnost – $7,744 \text{ m}^3/\text{s}$

Příkon – 2,2 kW

Provozní proud – 7,4 A



Obr. 4.5: Kompresor scroll firmy Copeland

4.4.3. Výběr sběrače kapaliny

Sběrač kapaliny slouží k oddělování kapaliny od případných par chladiva po zkondenzování chladiva v kondenzátoru. Zaručuje přívod kapaliny bez par do expanzního ventilu. Zároveň slouží jako zásoba celého objemu chladiva v systému TČ.

Volím stojatý sběrač chladiva EURO – EFM 5,6 firmy Eurocon o objemu 5,6 l s Rotalock ventilem a pájecími hrdly [13].



Obr. 4.6: Stojatý sběrač chladiva EURO - EFM 5,6 s Rotalock ventilem a pájecími hrdly

4.4.4. Výběr filtrdehydrátoru

Filtrdehydrátor slouží k zachycování vody, případných drobných pevných látek a jiných škodlivin z okruhu chladiva. Je nutné dodržet směr proudění chladiva, který je naznačen výrobcem na obalu. (Existují i obousměrné filtrdehydrátory, určené hlavně pro tepelná čerpadla vzduch – voda, případně vzduch – vzduch pro reverzní chod v odtávacím režimu, u kterých toto odpadá.) Filtrdehydrátor se montuje ve svislé poloze z důvodu rovnoměrného protékání kapalného chladiva.

Volím filtrdehydrátor FF 084S firmy Honeywell pro připojení šroubením o objemu 200 cm^3 [14].



Obr. 4.7: Filtrdehydrátor FF 084S pro připojení šroubením

4.4.5. Výběr průhledítka

Průhledítko slouží ke sledování toku kapaliny v potrubí. Je vybaven indikátorem vlhkosti, který případnou vlhkost v chladivu signalizuje změnou barvy v mezikruží. Tato změna je vratná, avšak pokud se v systému vlhkost objeví, je nutné urychleně vyměnit filtrdehydrátor. Průhledítko je možné montovat ve vodorovné i svislé poloze.

Volím průhledítko AMI 1 – SS 4 firmy Alco Controls s připojením pájením. Barva se mění z modré (suché chladivo, obsah vlhkosti do 40 ppm), přes fialovou (do 68 ppm), varovnou purpurovou (do 144 ppm) po červenou (vlhké chladivo, 232 ppm) [13].



Obr. 4.8: Průhleítka AMI 1 – SS 4 pro připojení pájením

4.4.6. Výběr expanzního ventilu

Expanzní ventil slouží k rozstřikování kapalného chladiva do výparníku tak, aby výparník plnil svou funkci, tj. vypařování veškerého kapalného chladiva odnímáním tepla primární vodě.

Volím elektronický expanzní ventil E2V – 18 ARB00 firmy Carel s připojením pomocí šroubení a regulací MasterCase [15].

Elektronický expanzní ventil má oproti klasickému termostatickému expanznímu ventilu několik výhod.

V případě jeho zapojení odpadá nutnost použít elektromagnetický ventil, který v případě vypnutí kompresoru uzavře oběh tak, aby kapalně chladivo neteklo zpět do sběrače chladiva.

Nemá tykavku, což je teplotní čidlo pro regulaci expanzního ventilu fungující na principu zvyšování a snižování tlaku vhodné náplně v nádobce těsně přiložené na potrubí na výstupu z výparníku. Tyto změny tlaku v náplni nádoby jsou přímo úměrné teplotě potrubí v místě připojení tykavky. Tlak je přenášen na membránu pomocí kapiláry. Membrána pak na základě rozdílu tlaků na jedné a druhé straně reguluje otevření trysky.

Nemá membránu. Místo ní řídí otevření trysky elektromagnet a pružina na základě teploty od teplotních čidel za ventilem, výparníkem a případně i jinde.



Obr. 4.9: Elektronický expanzní ventil Carel E2V

4.5. Výpočet primárního potrubí

Primární potrubí slouží k přívodu primární vody z čerpací vrtané studny do výparníku a jejímu odvodu do vsakovací vrtané studny. Volím soustavu dvou studen hlubokých 20 m, vzdálených 15 m od sebe. Potrubí je vedeno v nezámrazné hloubce 1,5 m. Celková délka potrubí je 65,235 m.

Volím potrubí z PVC PEVEFOR o průměru $d = 25 \times 4 \text{ mm}$.

4.5.1. Výpočet množství čerpané vody

Potřebné množství čerpané vody určím ze znalosti chladicího výkonu $\dot{Q}_0 = 5,823 \text{ kW}$, teploty čerpané vody $t_{voda,1} = 10^\circ\text{C}$ a teploty vody vracené do země $t_{voda,2} = 5^\circ\text{C}$:

$$\dot{m}_{voda} = \frac{\dot{Q}_0}{c_{p,voda} \cdot (t_{voda,1} - t_{voda,2})} [kg/s] \quad (4.22)$$

kde $c_{p,voda} [kJ/(kg \cdot K)]$ – měrná tepelná kapacita pro střední teplotu primární vody

Střední teplota primární vody:

$$t_{voda,stř} = \frac{(t_{voda,1} + t_{voda,2})}{2} = \frac{(10 + 5)}{2} = 7,5^\circ C \quad (4.23)$$

Hodnota měrné tepelné kapacity určena pomocí EES podle střední teploty primární vody $t_{voda,stř}$:

$$c_{p,voda} = 4,192 \text{ kJ}/(kg \cdot K)$$

Výpočet množství čerpané vody \dot{m}_{voda} – dosazení do (4.22):

$$\dot{m}_{voda} = \frac{5,823}{4,192 \cdot (10 - 5)} = 0,279 \text{ kg/s}$$

4.5.2. Výpočet třecích ztrát

Před výpočtem ztrát třením v rovných úsecích potrubí je nutné spočítat průměrnou rychlost proudění v potrubí úpravou následující rovnice:

$$\dot{m}_{voda} = \dot{V}_{voda} \cdot \rho_{voda} = S \cdot w_{voda} \cdot \rho_{voda} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot w_{voda} \cdot \rho_{voda}$$

$$w_{voda} = \frac{4 \cdot \dot{m}_{voda}}{\pi \cdot d^2 \cdot \rho_{voda}} [m/s] \quad (4.24)$$

kde $\dot{m}_{voda} [kg/s]$ – množství čerpané vody

$d [m]$ – průměr potrubí primární vody

$\rho_{voda} [kg/m^3]$ – hustota primární vody

Hodnota hustoty zjištěna pomocí EES podle teploty primární vody. (Hustota vody při 10°C a 5°C je podle EES totožná.)

$$\rho_{voda} = 1000 \text{ kg}/m^3$$

Výpočet rychlosti proudění v primárním potrubí w_{voda} – dosazení do (4.24):

$$w_{voda} = \frac{4 \cdot 0,279}{\pi \cdot 0,025^2 \cdot 1000} = 0,568 \text{ m/s}$$

Tlakovou ztrátu třením určím pomocí následujícího vztahu:

$$p_{z,třecí} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \rho_{voda} \cdot \frac{w_{voda}^2}{2} \text{ [Pa]} \quad (4.25)$$

Na základě Reynoldsova čísla určím vztah pro výpočet součinitele tření λ :

$$Re_1 = \frac{w_{voda} \cdot d}{\nu_1} \text{ [1]} \quad (4.26)$$

$$Re_2 = \frac{w_{voda} \cdot d}{\nu_2} \text{ [1]} \quad (4.27)$$

kde $w_{voda} \text{ [m/s]}$ – rychlost proudění v primárním potrubí

$d \text{ [m]}$ – průměr primárního potrubí

$\nu_1, \nu_2 \text{ [m}^2/\text{s]}$ – kinematická viskozita v příváděcím a odváděcím potrubí

Hodnota Re_M plně vyvinutého turbulentního proudění podle [4]:

$$Re_M = 445 \cdot \frac{d}{k} = 445 \cdot \frac{0,025}{0,00001} = 1,113 \cdot 10^6 \text{ [1]} \quad (4.28)$$

kde $k \text{ [mm]}$ – absolutní drsnost potrubí

Absolutní drsnost k pro plastové potrubí:

$$k = 0,01 \text{ mm}$$

Hodnoty kinematických viskozit určím výpočtem z dynamických viskozit získaných pomocí EES podle teploty primární vody $t_{voda,1} = 10^\circ\text{C}$ a $t_{voda,2} = 5^\circ\text{C}$.

$$\nu_1 = \frac{\eta_1}{\rho_{voda}} \text{ [m}^2/\text{s]} \quad (4.29)$$

$$\nu_2 = \frac{\eta_2}{\rho_{voda}} \text{ [m}^2/\text{s]} \quad (4.30)$$

Dynamická viskozita vody v příváděcím potrubí:

$$\eta_1 = 1,306 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

Dynamická viskozita vody v odváděcím potrubí:

$$\eta_2 = 1,519 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

Výpočet kinematických viskozit ν_1 a ν_2 – dosazení do (4.29) a (4.30):

$$\nu_1 = \frac{1,306 \cdot 10^{-3}}{1000} = 1,307 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\nu_2 = \frac{1,519 \cdot 10^{-3}}{1000} = 1,519 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Výpočet Reynoldsova čísla v přiváděcím a odváděcím potrubí – dosazení do (4.26) a (4.27):

$$Re_1 = \frac{0,568 \cdot 0,025}{1,307 \cdot 10^{-6}} = 10874 [1]$$

$$Re_2 = \frac{0,568 \cdot 0,025}{1,519 \cdot 10^{-6}} = 9353 [1]$$

Výpočet mezní hodnoty Reynoldsova čísla Re_M pro plně vyvinuté turbulentní proudění – dosazení do (4.28):

$$Re_M = 445 \cdot \frac{0,025}{0,00001} = 1,113 \cdot 10^6 [1]$$

Proudění jak v přiváděcím tak i v odváděcím potrubí je v přechodové oblasti ($2320 < Re < Re_M$), proto pro výpočet součinitele tření λ můžu použít vztah dle Altšula.

Součinitele tření v přiváděcím a odváděcím potrubí podle [4]:

$$\lambda_1 = 0,1 \cdot \left(\frac{100}{Re_1} + \frac{k}{d} \right)^{0,25} = 0,1 \cdot \left(\frac{100}{10874} + \frac{0,01 \cdot 10^{-3}}{0,025} \right)^{0,25} = 0,0313 [1] \quad (4.31)$$

$$\lambda_2 = 0,1 \cdot \left(\frac{100}{Re_2} + \frac{k}{d} \right)^{0,25} = 0,1 \cdot \left(\frac{100}{9353} + \frac{0,01 \cdot 10^{-3}}{0,025} \right)^{0,25} = 0,0325 [1] \quad (4.32)$$

kde $Re_1, Re_2 [1]$ – hodnoty Reynoldsova čísla pro přiváděcí a odváděcí potrubí

$k [m]$ – absolutní drsnost potrubí

$d [m]$ – průměr primárního potrubí

Hodnoty Reynoldsova čísla pro přiváděcí a odváděcí potrubí:

$$Re_1 = 10874 [1]$$

$$Re_2 = 9353 [1]$$

Absolutní drsnost potrubí:

$$k = 0,01 \text{ mm}$$

Průměr potrubí:

$$d = 0,025 \text{ m}$$

Výpočet třecích ztrát v přiváděcím potrubí délky $l_1 = 35,883 \text{ m}$ – dosazení do (4.25):

$$p_{z,třecí,1} = \lambda_1 \cdot \frac{l_1}{d} \cdot \rho_{voda} \cdot \frac{w_{voda}^2}{2} = 0,0313 \cdot \frac{35,883}{0,025} \cdot 1000 \cdot \frac{0,568^2}{2} = 7257 \text{ Pa}$$

Výpočet třecích ztrát v odváděcím potrubí délky $l_2 = 29,352 \text{ m}$ – dosazení do (4.25):

$$p_{z,třecí,2} = \lambda_2 \cdot \frac{l_2}{d} \cdot \rho_{voda} \cdot \frac{w_{voda}^2}{2} = 0,0325 \cdot \frac{29,352}{0,025} \cdot 1000 \cdot \frac{0,568^2}{2} = 6154 \text{ Pa}$$

Výpočet celkových třecích ztrát:

$$p_{z,třecí} = p_{z,třecí,1} + p_{z,třecí,2} = 7257 + 6154 = 13411 \text{ Pa} = 13,411 \text{ kPa} \quad (4.34)$$

4.5.3. Výpočet místních ztrát

Před vstupem do výparníku je na potrubí instalován kulový kohout, filtr, průtokoměr a další kulový kohout. Kulové kohouty uzavřou potrubí a zastaví průtok při čištění, případně výměně filtru, který slouží k filtraci čerpané podzemní vody.

Na výstupu z výparníku je další kulový kohout.

Volím kulové kohouty R258D firmy Giacomini s připojením pájením a průměrem hrdel 28 mm.

Tlaková ztráta tohoto kohoutu se vypočte podle vztahu daného výrobcem [16]:

$$p_{z,kohout} = \left(\frac{Q}{k_V}\right)^2 [Pa] \quad (4.35)$$

kde $Q [m^3/h]$ – průtok primárním potrubím

$k_V [1]$ – koeficient charakterizující typ a velikost kulového kohoutu

Hodnota koeficientu k_V (dáno výrobcem):

$$k_V = 36,3$$

Průtok primárním potrubím:

$$Q = \frac{3600 \cdot \dot{m}_{voda}}{\rho_{voda}} [m^3/h] \quad (4.36)$$

kde $\dot{m}_{voda} [kg/s]$ – průtok primární vody

$\rho_{voda} [kg/m^3]$ – hustota primární vody

Průtok vody primárním potrubím – viz (4.22):

$$\dot{m}_{voda} = 0,279 \text{ kg/s}$$

Hustota vody v primárním potrubí:

$$\rho_{voda} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Výpočet průtoku Q primárním potrubím – dosazení do (4.36):

$$Q = \frac{3600 \cdot 0,279}{1000} = 1,004 \text{ m}^3/h$$

Výpočet tlakové ztráty kulového kohoutu $p_{z,kohout}$ – dosazení do (4.35):

$$p_{z,kohout} = \left(\frac{1,004}{36,3}\right)^2 = 0,765 \text{ Pa}$$

Dále volím filtr Aquacon FP – 3 – 9. Tlaková ztráta tohoto filtru je podle výrobce [17]:

$$p_{z,filtr} = 7,1 \text{ kPa}$$

Volím průtokoměr Enbra EV firmy Enbra s připojením šroubením. Tlaková ztráta tohoto průtokoměru (odečteno z grafu výrobce) [18]:

$$p_{z,\text{průtokoměr}} = 15,2 \text{ kPa}$$

Tlaková ztráta výparníku na sekundární straně (dle Alfa Laval):

$$p_{z,\text{výparník}} = 21,2 \text{ kPa}$$

Tlaková ztráta kolene (90°):

$$p_{z,\text{koleno}} = \xi \cdot \frac{w_{\text{voda}}^2}{2} \cdot \rho_{\text{voda}} [\text{Pa}] \quad (4.37)$$

kde ξ [1] – součinitel místního odporu (kolene)

w_{voda} [m/s] – rychlost proudění vody v primárním potrubí

ρ_{voda} [kg/m³] – hustota vody v primárním potrubí

Součinitel místního odporu (kolene) ξ podle [4]:

$$\xi = 1,26 [1]$$

Rychlost proudění vody v primárním potrubí w_{voda} – viz (4.24):

$$w_{\text{voda}} = 0,568 \text{ m/s}$$

Hustota vody v primárním potrubí ρ_{voda} :

$$\rho_{\text{voda}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Výpočet tlakové ztráty kolene $p_{z,\text{koleno}}$ – dosazení do (4.37):

$$p_{z,\text{koleno}} = 1,26 \cdot \frac{0,568^2}{2} \cdot 1000 = 203,253 \text{ Pa}$$

Celková tlaková ztráta místními odpory:

$$p_{z,\text{místní}} = z_1 \cdot p_{z,\text{kohout}} + p_{z,\text{tiltr}} + p_{z,\text{průtokoměr}} + p_{z,\text{výparník}} + z_2 \cdot p_{z,\text{koleno}} [\text{Pa}] \quad (4.38)$$

Koeficient z_1 představuje počet kulových kohoutů na potrubí:

$$z_1 = 3$$

Koeficient z_2 představuje počet kolen na potrubí:

$$z_2 = 12$$

Výpočet celkové tlakové ztráty místními odpory – dosazení do (4.38):

$$p_{z,místní} = 3 \cdot 0,765 + 7100 + 15200 + 21200 + 12 \cdot 203,253 = 45943 \text{ Pa}$$

4.5.4. Výpočet celkové tlakové ztráty primárního potrubí

Celkovou tlakovou ztrátu primárního potrubí vypočtu jako součet ztrát třecích a místních:

$$p_z = p_{z,třecí} + p_{z,místní} = 13411 + 45945 = 59356 \text{ Pa} \quad (4.39)$$

Na základě vypočtené celkové tlakové ztráty a potřebného průtoku primární vody volím ponorné čerpadlo BF 1.5 – S – 9 firmy Britefil s příkonem $P_{\zeta} = 0,37 \text{ kW}$ a maximálním průtokem $\dot{V}_{max} = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ [19].

Vzhledem k nutnosti použít ponorné čerpadlo je nutné zohlednit jeho příkon přepočítáním topného faktoru:

$$\varepsilon_{T,sk} = \frac{\dot{Q}_T}{(P_K + P_{P\zeta})} [1] \quad (4.40)$$

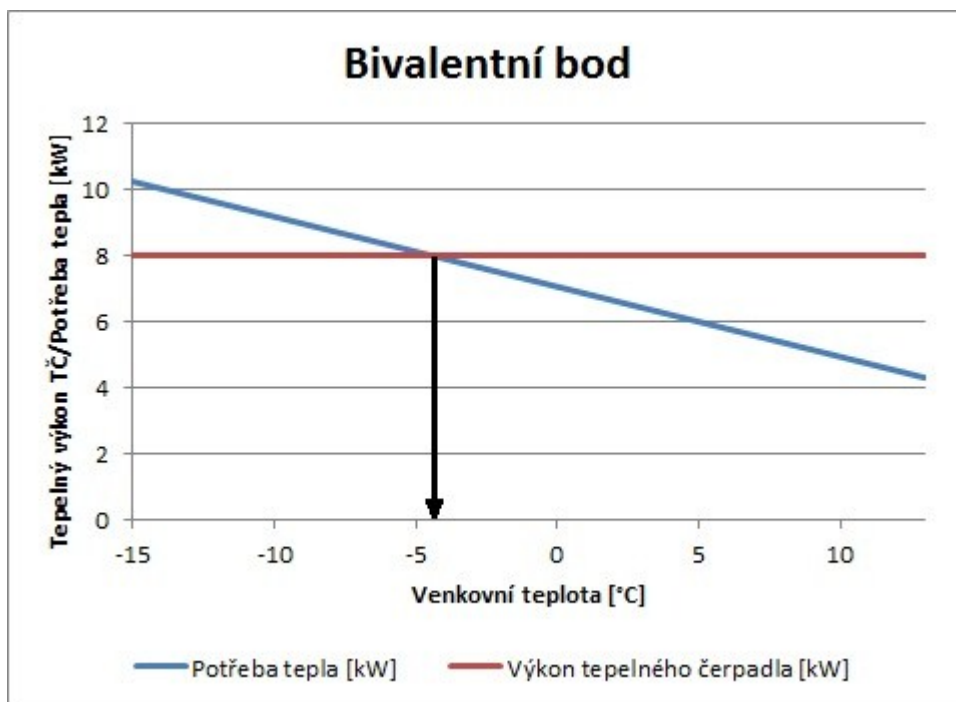
kde $\dot{Q}_T [\text{kW}]$ – topný výkon TČ

$P_K [\text{kW}]$ – příkon vybraného kompresoru ZH21K4E – TFR 522

$$\varepsilon_{T,sk} = \frac{8}{(2,2 + 0,37)} = 3,113 [1]$$

5. Stanovení bivalentního bodu

Bivalentní bod je průsečík dvou křivek, z nichž jedna charakterizuje potřebu tepla objektu a druhá topný výkon tepelného čerpadla. Obě křivky jsou znázorněny v závislosti na vnější teplotě.



Obr. 5.1: Bivalentní bod

Z obrázku je patrné, že bivalentní bod se pohybuje kolem hodnoty $-4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Do této teploty je celá potřeba tepla pokryta TČ, při podkročení této teploty dojde k zapojení bivalentního zdroje – elektrického topného tělesa s výkonem 3 kW, umístěného v přírubě v akumulacním zásobníku topné vody.

6. Ekonomické hodnocení

6.1. Předpokládané náklady na stavbu TČ

Tab. 6.1: Předpokládané náklady na stavbu TČ

Položka	Typ	Výrobce	Cena
Kondenzátor	AlfaNova 27-40H	Alfa Laval	35008
Výparník	AlfaNova 52-20H	Alfa Laval	37291
Kompresor	ZH21 K4E TFR 522	Copeland	26364
Sběrač chladiva	EURO EFM 5,6	Eurocon	1370
Filtrdehydrátor	FF 084S	Honeywell	410
Průhledítko	AMI 1-SS 4	Alco Controls	825
Expanzní ventil	E2V-18 ARB00	Carel	6992
Regulace	Mastercase	Carel	23523
Potrubí, kolena aj.	-	-	724
Rám	-	-	2440
Spojovací materiál	-	-	116

Kulový kohout	R258D	Gicomini	3x179
Filtr	FP-3-9	Aquacon	665
Průtokoměr	Enbra EV	Enbra	415
Ponorné čerpadlo	BF 1.5-S-9	Britefil	11883
Izolace	Armaflex AC	Armaflex	372
Chladivo	R407C	-	1250

Předpokládané náklady na stavbu TČ jsou 150185 Kč.

Další náklady jsou spojeny s pořízením akumulční nádrže topné vody, zásobníku TV, topných těles, oběhových čerpadel topné vody a TV, expanzní nádoby, ventilů, armatur, potrubí a dalších zařízení potřebných k připojení TČ k otopné soustavě:

Tab. 6.2: Další náklady na připojení TČ k otopné soustavě

Položka	Typ	Cena
Akumulační nádrž topné vody	Regulus PS2F 300	10580
Elektrické topné těleso	Regulus 2kW	689
Zásobník TV	Regulus RBC 400	34900
Elektrické topné těleso	Regulus 3kW	718
Oběhové čerpadlo topné vody	Aquacup GRS 25-40	1303
Oběhové čerpadlo teplé vody	Sea-Land CKR 130/45	1320
Expanzní nádoba	Reflex N 8/6	700
Armatury, ventily, potrubí aj.	-	4000

Tyto další náklady jsou v celkové výši $N_{DN} = 54\,210$ Kč.

Další náklady jsou spojeny s pořízením primárního potrubí, vrtáním dvou studen (čerpací, vsakovací) a zemními pracemi pro uložení primárního potrubí do nezámrzné hloubky 1,5 m. Cena potrubí je okolo 17,5 Kč/m, cena vrtných prací se pohybuje okolo 900 Kč/m hloubky vrtu včetně vystrojení, cena strojních zemních prací okolo 400 Kč/m³. Celková délka primárního potrubí je asi 27,5 m, hloubka obou studní je 20 m. Při předpokládané délce výkopu 24 m (délka výkopu 4 m od zdi domu, vzdálenost obou studní 20 m), šířce 0,6 m a hloubce 1,5 m bude potřeba vykopat 21,6 m³ zeminy. Náklady na primární potrubí, studny a zemní práce pak budou:

Tabulka 6.3: Náklady na zemní práce

Vrtání studen + vystrojení	36000
Výkop pro uložení potrubí	11100
Potrubí	1250

Celkové náklady na zemní práce jsou 48 350 Kč.

Při využití dotací z programu Zelená úsporám je možné dosáhnout snížení investičních nákladů až o 30%, maximálně však o 85 000 Kč. Dotace se však týká pouze nákladů na pořízení TČ a připojení TČ ke zdroji nízkopotenciálního tepla. Tato výše dotace platí pro tepelné čerpadlo země – voda, voda – voda s akumulací nádrží o minimálním měrném objemu 20 l/kW tepelného výkonu [20]. Do systému jsem navrhnul akumulací nádrž Regulus PS2F 300 o objemu $V_{AN} = 300 \text{ l}$, výkon TČ je $\dot{Q}_T = 8 \text{ kW}$. Měrný objem tak činí:

$$V_M = \frac{V_{AN}}{\dot{Q}_T} = \frac{300}{8} = 37,5 \text{ l/kW} \quad (6.1)$$

Podmínka pro udělení dotace je tak splněna.

Náklady na pořízení TČ a připojení k nízkopotenciálnímu zdroji budou $N_{TČ+NP} = 198535 \text{ Kč}$.

Výše dotace může dosáhnout až 30% nákladů na pořízení TČ a jeho připojení ke zdroji, tedy:

$$D = 0,3 \cdot N_{TČ+NP} = 0,3 \cdot 198535 = 59560,50 \text{ Kč} \quad (6.2)$$

Náklady na pořízení TČ a jeho připojení ke zdroji snížené o dotaci:

$$N_{ID} = N_{TČ+NP} - D = 198535 - 59560,50 = 138974,50 \text{ Kč} \quad (6.3)$$

Celkové investiční náklady jsou součtem nákladů na pořízení TČ a jeho připojení ke zdroji snížené o dotaci a dalších nákladů na připojení TČ k otopné soustavě:

$$N_{IC} = N_{ID} + N_{DN} = 138974,50 + 54\,210 = 193184,50 \text{ Kč} \quad (6.4)$$

6.2. Provozní náklady

TČ bude sloužit v otopném období po dobu 242 dnů pro pokrytí tepelných ztrát objektu a předehřev teplé vody. V tomto období bude jako bivalentní zdroj fungovat elektrické topné těleso Regulus o výkonu 3 kW, pro dohřev teplé vody bude sloužit elektrické topné těleso Regulus o výkonu 2 kW [8].

Mimo otopné období bude TČ sloužit pro předehřev teplé vody.

Následující tabulka udává, jak dlouho by TČ muselo fungovat na plný výkon, aby pokrylo celkovou potřebu tepla (vytápění + předehřev vody) v daném období:

Tab. 6.4: Doba fungování TČ v otopném období

Měsíc [1]	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V
Počet dní [1]	15	31	30	31	31	28	31	30	15
t_{es} [°C]	12,1	8,1	-3,5	-0,6	-3	-1,9	2,3	7,8	11,9
$Q_{T+TV,i}$ [MWh]	0,825	2,447	4,445	4,056	4,500	3,881	3,520	2,421	0,844
$E_{T+TV,i}$ [GJ]	2,972	8,808	16,001	14,603	16,201	13,972	12,671	8,717	3,037
$\tau_{h,i}$ [h]	103,210	305,816	555,591	507,037	562,546	485,127	439,964	302,666	105,448

Výpočet pro září:

$$\tau_{h,září} = \frac{E_{T+TV,září}}{\dot{Q}_T \cdot 3600} = \frac{2,972 \cdot 10^9}{8000 \cdot 3600} = 103,210 \text{ h} \quad (6.5)$$

Aby TČ pokrylo potřebu tepla pro vytápění i předehřev vody, po celé topné období ($d_c = 242$ dní) by muselo jet po dobu:

$$\tau_h = \sum \tau_{hi} = 3367,406 \text{ h} \quad (6.6)$$

Tento výpočet vychází z průměrných teplot v měsíci. Během topného období se však vyskytují dny, jejichž průměrná teplota je nižší než průměrná teplota v celém měsíci. Potřeba tepla po dny s teplotou nižší než -4,5°C (bivalentní bod) je asi 430 kWh.

Při vytápění pomocí tepelného čerpadla je možné využít výhodnější tarifní sazbu. Společnost ČEZ, a. s. nabízí tarif D 56d, se kterým po dobu 22 hodin denně platí nízký tarif 2407,61 Kč/MWh (NT), po dobu zbývajících dvou hodin pak vysoký tarif 2910,44 Kč/MWh (VT) [21]. Po dobu vysokého tarifu je vhodné, aby spotřebitel blokoval elektrická topná zařízení.

6.2.1. Náklady na provoz v otopné sezoně

Následující tabulka shrnuje náklady na provoz v topném období:

Tab. 6.5: Náklady na provoz t topném období

	Dohřev TV	Kompresor TČ	Bivalentní zdroj	Ponorné čerpadlo	Oběhové čerpadlo TV	Oběhové čerpadlo topné vody
Q_i [MWh]	2,279	7,408	0,430	1,246	0,100	0,303
Náklady [Kč]	5487,901	17836,281	1035,272	2999,738	241,214	729,666

Dohřev TV pomocí elektrického topného tělesa Regulus 2 kW [8]

Dohřev TV je zajištěn elektrickým topným tělesem o výkonu 2 kW. Za předpokladu 100% přeměny elektřiny na teplo budou náklady na dohřev:

$$N_{dohřev} = Q_{dohřev} \cdot N [\text{Kč}] \quad (6.7)$$

kde $Q_{dohřev}$ [MWh] – elektrická energie spotřebovaná k pokrytí dohřevu TV

NT [Kč/MWh] – nízký tarif

Elektrická energie potřebná k pokrytí dohřevu TV:

$$Q_{dohřev} = \dot{Q}_{dohřev,den} \cdot d_c [\text{MWh}] \quad (6.8)$$

kde $\dot{Q}_{dohřev,den}$ [kWh/den] – množství tepla potřebného k dohřevu vody za den

d_c [1] – počet dní otopného období

Množství tepla potřebného k dohřevu vody za den, viz rovnice (3.23):

$$\dot{Q}_{dohřev,den} = 9,419 \text{ kWh/den}$$

Počet dní otopného období:

$$d_c = 242 [1]$$

Po dosazení do (6.8):

$$Q_{dohřev} = 9,419 \cdot 242 = 2279,398 \text{ kWh} = 2,279 \text{ MWh}$$

Výsledná cena za energii – dosazení do (6.7):

$$N_{dohřev} = 2,279 \cdot 2407,61 = 5487,901 \text{ Kč}$$

Kompresor TČ ZH21K4E – TFR 522 [12]

Kompresor TČ má příkon $P_K = 2,2 \text{ kW}$. V provozu bude v otopném období po dobu $\tau_h = 3367,406 \text{ h}$. Na jeho provoz bude potřeba:

$$Q_{kompresor} = P_K \cdot \tau_h = 2,2 \cdot 3367,406 = 7408,293 \text{ kWh} = 7,408 \text{ MWh} \quad (6.9)$$

Náklady na provoz kompresoru budou:

$$N_{kompresor} = Q_{kompresor} \cdot NT = 7,408 \cdot 2407,61 = 17836,281 \text{ Kč} \quad (6.10)$$

Bivalentní zdroj – elektrické topné těleso Regulus 3 kW [8]

Bivalentní zdroj (elektrické topné těleso o výkonu 3 kW) bude krýt ztrátu asi 430 kWh v období, kdy teplota klesne pod $-4,5^\circ\text{C}$. Za předpokladu 100% přeměny elektrické energie na teplo budou náklady na jeho provoz:

$$N_{BZ} = Q_{BZ} \cdot NT = 0,430 \cdot 2407,61 = 1035,272 \text{ Kč} \quad (6.11)$$

Ponorné čerpadlo BF 1.5 – S – 9 [19]

Ponorné čerpadlo má příkon $P_{PČ} = 0,37 \text{ kW}$. V provozu bude v otopném období po dobu $\tau_h = 3367,406 \text{ h}$. Na jeho provoz bude potřeba:

$$Q_{PČ} = P_{PČ} \cdot \tau_h = 0,37 \cdot 3367,406 = 1245,940 \text{ kWh} = 1,246 \text{ MWh} \quad (6.12)$$

Náklady na provoz ponorného čerpadla budou:

$$N_{PČ} = Q_{PČ} \cdot NT = 1,246 \cdot 2407,61 = 2999,738 \text{ Kč} \quad (6.13)$$

Oběhové čerpadlo TV Aquacup GRS 25-40 [10]

Oběhové čerpadlo TV bude v provozu po dobu předehřevu TV, tedy po dobu $\tau = 6 \text{ h}$ denně. Vzhledem k maximálnímu příkonu $P_{oč,TV} = 96 \text{ W}$ za celé otopné období spotřebuje:

$$Q_{oč,TV} = P_{oč,TV} \cdot \tau \cdot d_c = 69 \cdot 6 \cdot 242 = 100188 \text{ Wh} = 0,100 \text{ MWh} \quad (6.14)$$

Náklady na jeho provoz budou:

$$N_{oč,TV} = Q_{oč,TV} \cdot NT = 0,1 \cdot 2407,61 = 241,214 \text{ Kč} \quad (6.15)$$

Oběhové čerpadlo topné vody Sea-Land CKR 130/45 [11]

Oběhové čerpadlo topné vody bude v provozu po dobu $\tau_h = 3367,406 \text{ h}$. Na jeho provoz bude potřeba:

$$Q_{o\check{c},topné} = P_{o\check{c},topné} \cdot \tau_h = 90 \cdot 3367,406 = 303067 \text{ Wh} = 0,303 \text{ MWh} \quad (6.16)$$

Náklady na jeho provoz budou:

$$N_{o\check{c},topné} = Q_{o\check{c},topné} \cdot NT = 0,303 \cdot 2407,61 = 729,666 \text{ Kč} \quad (6.17)$$

Celkové náklady na provoz v otopném období:

$$N_{OT} = 28\,330 \text{ Kč}$$

6.2.2. Náklady na provoz mimo otopnou sezonu

Následující tabulka shrnuje náklady na provoz mimo otopné období:

Tab. 5.6: Náklady na provoz mimo topné období

	Dohřev TV	Kompresor TČ	Bivalentní zdroj	Ponorné čerpadlo	Oběhové čerpadlo TV	Oběhové čerpadlo topné vody
Q_i [MWh]	1,159	0,392	0	0,066	0,012	0
Náklady [Kč]	2789,305	944,674	0	158,877	29,628	0

Dohřev TV pomocí elektrického topného tělesa Regulus 2 kW [8]

Dohřev TV je zajištěn elektrickým topným tělesem o výkonu 2 kW. Za předpokladu 100% přeměny elektřiny na teplo budou náklady na dohřev:

$$N_{dohřev} = Q_{dohřev} \cdot NT \quad (6.18)$$

kde $Q_{dohřev}$ [MWh] – elektrická energie spotřebovaná k pokrytí dohřevu TV

NT [Kč/MWh] – nízký tarif

Elektrická energie potřebná k pokrytí dohřevu TV:

$$Q_{dohřev} = \dot{Q}_{dohřev,den} \cdot (365 - d_C) \quad (6.19)$$

kde $\dot{Q}_{dohřev,den} [kWh/den]$ – množství tepla potřebného k dohřevu vody za den
 $d_C [1]$ – počet dní otopného období

Množství tepla potřebného k dohřevu vody za den, viz rovnice (3.23):

$$\dot{Q}_{dohřev,den} = 9,419 \text{ kWh/den}$$

Počet dní otopného období:

$$d_C = 242 [1]$$

Po dosazení do (6.18):

$$Q_{dohřev} = 9,419 \cdot (365 - 242) = 1158,537 \text{ kWh} = 1,159 \text{ MWh}$$

Výsledná cena za energii – dosazení do (6.17):

$$N_{dohřev} = 2,279 \cdot 1,159 = 2789,305 \text{ Kč}$$

Mimo otopné období bude tepelné čerpadlo sloužit pouze pro předeřev vody. V tomto období je tak možné využít celý jeho topný výkon $\dot{Q}_T = 8 \text{ kW}$ pro tento účel. Doba předeřevu se tak zkrátí ze zvolené doby $\tau = 6 \text{ h}$ na dobu τ_L :

$$\tau_L = \frac{V_{zásobník,TV} \cdot \rho_{TV} \cdot c_{p,TV} \cdot (t_{V,1} - t_{V,2})}{3600 \cdot \dot{Q}_T} [h] \quad (6.20)$$

kde $V_{zásobník,TV} [m^3]$ – objem zvoleného zásobníku
 $\rho_{TV} [kg/m^3]$ – hustota předeřáté TV
 $c_{p,TV} [kJ/(kg \cdot K)]$ – měrná tepelná kapacita TV
 $t_{V,1} [^\circ C]$ – teplota předeřáté TV pomocí TČ
 $t_{V,2} [^\circ C]$ – průměrná teplota vody na vstupu do zásobníku TV
 $\dot{Q}_T [kW]$ – topný výkon TČ

Objem zásobníku $V_{zásobník,TV}$:

$$V_{zásobník,TV} = 400 \text{ l} = 0,4 \text{ m}^3$$

Střední teplota vody v zásobníku $t_{stř,zásobník,TV}$:

$$t_{stř,TV} = \frac{(t_{V,1} + t_{V,2})}{2} = \frac{(35 + 10)}{2} = 22,5^\circ C \quad (6.21)$$

Hustota vody v zásobníku ρ_{TV} určena pomocí EES pro střední teplotu $t_{stř,TV}$:

$$\rho_{TV} = 998 \text{ kg/m}^3$$

Měrná tepelná kapacita vody určena také pro střední teplotu pomocí EES:

$$c_{p,TV} = 4,183 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$$

Po dosazení do (6.20):

$$\tau_L = \frac{0,4 \cdot 998 \cdot 4183 \cdot (35 - 10)}{3600 \cdot 8000} = 1,450 \text{ h}$$

Zkrácení doby předehřevu na $\tau_L = 1,450 \text{ h}$ s sebou přinese zároveň i zkrácení doby provozu kompresoru, ponorného čerpadla a oběhového čerpadla TV.

Kompresor TČ ZH21K4E – TFR 522 [12]

Kompresor TČ má příkon $P_K = 2,2 \text{ kW}$. V provozu bude mimo otopné období po dobu $\tau_L = 1,450 \text{ h}$ denně. Na jeho provoz bude potřeba:

$$Q_{kompresor} = P_K \cdot \tau_L \cdot (365 - d_C) [\text{MWh}] \quad (6.22)$$

$$Q_{kompresor} = 2,2 \cdot 1,450 \cdot (365 - 242) = 392,370 \text{ kWh} = 0,392 \text{ MWh}$$

Náklady na provoz kompresoru budou:

$$N_{kompresor} = Q_{kompresor} \cdot NT = 0,392 \cdot 2407,61 = 944,674 \text{ Kč} \quad (6.23)$$

Bivalentní zdroj – elektrické topné těleso Regulus 3 kW [8]

Bivalentní zdroj (elektrické topné těleso o výkonu 3 kW) nebude v tomto období zapotřebí.

Ponorné čerpadlo BF 1.5 – S – 9 [19]

Ponorné čerpadlo má příkon $P_{PČ} = 0,37 \text{ kW}$. V provozu bude mimo otopné období po dobu $\tau_L = 1,450 \text{ h}$ denně. Na jeho provoz bude potřeba:

$$Q_{PČ} = P_{PČ} \cdot \tau_L \cdot (365 - d_C) [\text{MWh}] \quad (6.24)$$

$$Q_{PČ} = 0,37 \cdot 1,450 \cdot (365 - 242) = 65,990 \text{ kWh} = 0,066 \text{ MWh}$$

Náklady na provoz ponorného čerpadla budou:

$$N_{P\check{c}} = Q_{P\check{c}} \cdot NT = 0,066 \cdot 2407,61 = 158,877 \text{ Kč} \quad (6.25)$$

Oběhové čerpadlo TV Aquacup GRS 25-40 [10]

Oběhové čerpadlo TV bude v provozu po dobu přehřevu TV, tedy po dobu $\tau_L = 1,450 \text{ h}$ denně. Mimo otopné období spotřebuje:

$$Q_{o\check{c},TV} = P_{o\check{c},TV} \cdot \tau_L \cdot (365 - d_c) [MWh] \quad (6.26)$$

$$Q_{o\check{c},TV} = 69 \cdot 1,450 \cdot (365 - 242) = 12306 \text{ Wh} = 0,012 \text{ MWh}$$

Náklady na jeho provoz budou:

$$N_{o\check{c},TV} = Q_{o\check{c},TV} \cdot NT = 0,012 \cdot 2407,61 = 29,628 \text{ Kč} \quad (6.27)$$

Oběhové čerpadlo topné vody Sea-Land CKR 130/45 [11]

Oběhové čerpadlo topné vody bude v tomto období mimo provoz.

Celkové náklady na provoz mimo otopné období:

$$N_{MOT} = 3\,922,50 \text{ Kč}$$

6.3. Celkové roční provozní náklady

Celkové celoroční náklady jsou součtem nákladů v otopném, mimo otopného období a stálých měsíčních plateb [21]:

$$N_{CN} = N_{OT} + N_{MOT} + 12 \cdot N_{PP} + 12 \cdot N_{PCM} [Kč] \quad (6.28)$$

kde $N_{OT} [Kč]$ – náklady v otopném období

$N_{MOT} [Kč]$ – náklady mimo otopné období

$N_{PP} [Kč]$ – měsíční poplatek za příkon podle jmenovité proudové hodnoty jističe

$N_{PCM} [Kč]$ – pevná elektřiny cena za měsíc

Celkové náklady na provoz v otopném období:

$$N_{OT} = 28\,330 \text{ Kč}$$

Celkové náklady na provoz mimo otopné období:

$$N_{MOT} = 3\,922,50 \text{ Kč}$$

Měsíční poplatek za příkon N_{PP} pro 3x10A až 3x16A:

$$N_{PP} = 230,40 \text{ Kč}$$

Pevná cena za měsíc:

$$N_{PCM} = 66 \text{ Kč}$$

Po dosazení do (6.27):

$$N_{CN} = 28\,330 + 3\,922,50 + 12 \cdot 230,40 + 12 \cdot 66 = 35\,809,30 \text{ Kč}$$

6.4. Náklady na vytápění stejného objektu zemním plynem

Celková potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát objektu a přípravu teplé vody:

$$\dot{Q}_{CT} = 31,547 \text{ MWh/rok}$$

$$E_{CT} = 113,567 \text{ GJ/rok}$$

Náklady na vytápění a přípravu TV plynem určí pomocí [22]:

$$N_{ZP} = C_{ZP} \cdot \frac{\dot{Q}_{CT}}{\eta_{kotle}} + 12 \cdot N_{SMP} \text{ [Kč]} \quad (6.29)$$

kde C_{ZP} [Kč/kWh] – součet cen za odebraný plyn

η_{kotle} [1] – účinnost kotle

N_{SMP} [Kč] – součet stálých měsíčních poplatků za plyn

Součet cen za odebraný plyn:

$$C_{ZP} = 1,30321 \text{ Kč/kWh}$$

Účinnost nízkoteplotního plynového kotle:

$$\eta_{kotle} = 0,95$$

Součet stálých měsíčních poplatků:

$$N_{SMP} = 357,91 \text{ Kč}$$

Uvedené ceny jsou platné pro zákazníky RWE Transgas (Severomoravská plynárenská).

Náklady na vytápění plynem – dosazení do (6.23):

$$N_{ZP} = 1,30321 \cdot \frac{31,547 \cdot 10^3}{0,95} + 12 \cdot 357,91 = 47571,10 \text{ Kč}$$

6.5. Návratnost

Prostou návratnost určím pomocí:

$$d_n = \frac{N_{IC}}{U_r} [\text{roky}] \quad (6.30)$$

kde N_{IC} [Kč] – vložené finanční prostředky – celková investice

U_r [Kč/rok] – roční úspory

Vložené finanční prostředky – celková investice:

$$N_{IC} = 193184,50 \text{ Kč}$$

Roční úspory spočítám jako rozdíl nákladů na vytápění zemním plynem a pomocí TČ. Další úspory přinese přechod na tarif D 56d. Nízký tarif 2407,61 Kč/MWh platí pro všechny elektrospotřebiče, počítám proto s další úsporou okolo 6500 Kč/rok:

$$U_r = N_{ZP} - N_{CN} + 6500 [\text{Kč/rok}] \quad (6.31)$$

kde N_{ZP} [Kč/rok] – náklady na vytápění a přípravu TV zemním plynem

N_{CN} [Kč/rok] – celkové celoroční náklady na vytápění a přehřev TV pomocí TČ

Náklady na vytápění a přípravu TV zemním plynem:

$$N_{ZP} = 47571,10 \text{ Kč}$$

Celkové celoroční náklady na vytápění a přehřev TV pomocí TČ:

$$N_{CN} = 35809,30 \text{ Kč}$$

Po dosazení do (6.31):

$$U_r = 47571,10 - 35809,30 + 6500 = 18261,80 \text{ Kč/rok}$$

Výpočet prosté návratnosti – dosazení do (6.30):

$$d_n = \frac{193184,50}{18261,80} = 10,579 \text{ let}$$

7. Environmentální hodnocení

Tepelné čerpadlo na celý svůj tepelný výkon spotřebuje pouze asi 30% energie dodané ve formě elektřiny (pro pohon kompresoru, čerpadel), zbytek, tedy asi 70%, je dodáváno nízkopotenciálním zdrojem tepla. Elektřina se však v našich podmínkách většinou vyrábí z neobnovitelných zdrojů, a tak se sice ekologická zátěž v místě spotřeby sníží, ale zvyšuje se v oblastech výroby elektřiny.

Pro pokrytí potřeby tepla bude nutné dodat $V_{ZP} = 3245 \text{ m}^3/\text{rok}$ zemního plynu (podle [22]).

Výpočet množství emisí vychází z následujících tabulek emisních faktorů [23]:

Tab. 7.1: Emisní faktory – spalování zemního plynu

TZL [kg/10 ⁶ m ³]	SO ₂ [kg/10 ⁶ m ³]	NO _x [kg/10 ⁶ m ³]	CO [kg/10 ⁶ m ³]	Organické látky [kg/10 ⁶ m ³]	CO ₂ [t/MWh]
20	9,6	1600	320	64	0,2

Tab. 7.2: Emisní faktory – energetický mix ČR

TZL [kg/GJ]	SO ₂ [kg/GJ]	NO _x [kg/GJ]	CO [kg/GJ]	Organické látky [kg/GJ]	CO ₂ [kg/GJ]
0,02591	0,489376	0,415698	0,0393	0,03086	325

Porovnání množství vyprodukovaných emisí při použití zemního plynu a TČ:

Tab. 7.3: Množství emisí vzniklých spalováním zemního plynu a použitím tepelného čerpadla

	TZL [kg/rok]	SO ₂ [kg/rok]	NO _x [kg/rok]	CO [kg/rok]	Organické látky [kg/rok]	CO ₂ [kg/rok]
ZP	0,0649	0,0312	5,1920	1,0384	0,2077	6641,4737
TČ	3,0974	58,5021	49,6943	4,6981	3,6891	38851,8684

Příklad výpočtu množství emisí TZL vyprodukovaných spalováním zemního plynu:

$$TZL_{ZP} = EF_{TZL,ZP} \cdot V_{ZP} \text{ [kg/rok]} \quad (7.1)$$

kde $EF_{TZL,ZP} \text{ [kg/10}^6\text{m}^3\text{]}$ – emisní faktor zemního plynu pro TZL

$V_{ZP} \text{ [m}^3\text{/rok]}$ – množství spáleného zemního plynu za rok

Emisní faktor zemního plynu pro TZL:

$$EF_{TZL,ZP} = 20 \text{ kg/10}^6\text{m}^3$$

Množství spáleného zemního plynu za rok:

$$V_{ZP} = 3245 \text{ m}^3\text{/rok}$$

Výpočet množství emisí TZL – dosazení do (7.1):

$$TZL_{ZP} = 20 \cdot 10^{-6} \cdot 3245 = 0,0649 \text{ kg/rok}$$

Stejným způsobem se vypočítá množství emisí SO₂, NO_x, CO a organických látek.

Výpočet množství emisí CO₂ se liší:

$$CO_{2,ZP} = \frac{\dot{Q}_{CT}}{\eta_{kotle}} \cdot EF_{CO_2} \text{ [kg/rok]} \quad (7.2)$$

kde $\dot{Q}_{CT} \text{ [MWh/rok]}$ – celková potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát objektu a přípravu teplé vody

$\eta_{kotle} \text{ [1]}$ – účinnost kotle

$EF_{CO_2} \text{ [t/MWh]}$ – emisní faktor CO₂ pro zemní plyn

Celková potřeba tepla:

$$\dot{Q}_{CT} = 31,547 \text{ MWh/rok}$$

Účinnost kotle:

$$\eta_{kotle} = 0,95 [1]$$

Emisní faktor CO₂ pro zemní plyn:

$$EF_{CO_2,ZP} = 0,2 \text{ t/MWh}$$

Po dosazení do (7.2):

$$CO_2 = \frac{31,547}{0,95} \cdot 0,2 \cdot 10^3 = 6641,4737 \text{ kg/rok}$$

Příklad výpočtu množství emisí TZL vyprodukovaných provozem TČ:

$$TZL_{TČ} = \frac{E_{CT}}{\eta_{kotle}} \cdot EF_{TZL,TČ} [kg/rok] \quad (7.3)$$

kde $E_{CT} [GJ/rok]$ – celková potřeba tepla na vytápění, předehřev a dohřev TV

$\eta_{kotle} [1]$ – účinnost kotle

$EF_{TZL,TČ} [kg/GJ]$ – emisní faktor TZL pro energetický mix ČR

Celková potřeba tepla na vytápění, předehřev a dohřev TV:

$$E_{CT} = 113,567 \text{ GJ/rok}$$

Účinnost kotle:

$$\eta_{kotle} = 0,95 [1]$$

Emisní faktor TZL pro energetický mix ČR:

$$EF_{TZL,TČ} = 0,02591 \text{ kg/GJ}$$

Po dosazení do (7.3):

$$TZL_{TČ} = \frac{113,567}{0,95} \cdot 0,02591 = 3,0974 \text{ kg/rok}$$

Stejným způsobem se spočítá množství emisí SO₂, NO_x, CO a organických látek.

8. Závěr

Cílem mé diplomové práce bylo posoudit možnosti vytápění rodinného domu v lokalitě Nový Malín nedaleko Šumperka tepelným čerpadlem. Tepelné ztráty objektu jsem spočítal obálkovou metodou pomocí normy ČSN 06 0210 a normy 73 1540-3. Tepelná ztráta objektu je pro výpočtovou venkovní teplotu -15°C $\dot{Q}_{C,RD} = 8,637 \text{ kW}$.

Pro tento dům jsem navrhnul tepelné čerpadlo voda – voda s topným výkonem $\dot{Q}_T = 8 \text{ kW}$ a bivalentním zdrojem (elektrickým topným tělesem) o výkonu 3 kW. Teplotu bivalentní bodu jsem stanovil na hodnotu asi $-4,5^{\circ}\text{C}$. Při podkročení této teploty se automaticky zapojí bivalentní zdroj a spolu s tepelným čerpadlem zajistí dostatek tepla pro vytápění a předhřev teplé vody až do teploty okolo -20°C .

Dále jsem stanovil investiční náklady na stavbu tepelného čerpadla, zemní práce a další zařízení nutná k připojení tepelného čerpadla do stávajícího systému vytápění, který je tvořen podlahovým topením. Celkové investice do mnou navrženého systému jsou $N_{IC} = 193\,184,50 \text{ Kč}$ po započítání 30% dotace z programu Zelená úsporám na pořízení tepelného čerpadla a nákladů na jeho připojení ke zdroji tepla. Celý systém tvoří dvě vrtané studny hluboké 20 m, z nichž jedna je čerpací (je v ní umístěno ponorné čerpadlo s příkonem 370 W) a druhá vsakovací. S ohledem na příkon kompresoru a ponorného čerpadla jsem spočítal skutečný topný faktor $\varepsilon_{sk} = 3,113$.

Srovnal jsem náklady na vytápění a předehřev teplé vody pomocí tepelného čerpadla a dohřev teplé vody pomocí elektrického topného tělesa s vytápěním a přípravou teplé vody pomocí kotle na zemní plyn.

Náklady na provoz tepelného čerpadla dosáhly $N_{CN} = 35\,809,30 \text{ Kč/rok}$, pokud bude čerpadlo pracovat pouze v nízkém tarifu. Nízký tarif je účtován po dobu 22 h denně, cena elektřiny je 2 407,61 Kč/MWh. Cena elektřiny ve vysokém tarifu je 2 910,44 Kč/MWh po zbylé dvě hodiny denně. Tyto ceny platí pro tarif D 56d společnosti ČEZ, a. s.

Náklady na vytápění a přípravu teplé vody pomocí plynového kotle dosáhly $N_{ZP} = 47\,571,10 \text{ Kč}$, pokud bude zemní plyn odebírán od společnosti RWE Transgas.

Prostou návratnost takovéto investice jsem určil na dobu $d_n = 10,579 \text{ let}$ s ohledem na předpokládané úspory na provoz všech elektrospotřebičů v domácnosti (nízký tarif se vztahuje na veškerý odběr elektřiny) ve výši asi 6 500 Kč.

Životnost tepelného čerpadla se hodnotí podle životnosti kompresoru, která bývá okolo 7 let. V tomto případě je doba návratnosti vyšší než životnost, dá se tedy předpokládat výměna kompresoru a případných jiných součástí, které během této doby

doslouží. Investice na zajištění provozuschopnosti tepelného čerpadla již však nejsou tak vysoké (kompresor stojí okolo 27 000 Kč, další součásti jsou řádově levnější) jako počáteční investice. Doba návratnosti se sice prodlouží, ne však nijak výrazně a z mého pohledu se tento systém stále jeví jako zajímavá investice.

Z environmentálního hlediska se vytápění tepelným čerpadlem nejeví jako příliš ekologické, protože elektřina pro provoz tepelného čerpadla se v ČR vyrábí hlavně z neobnovitelných zdrojů (spalováním hnědého uhlí). Emise, vznikající výrobou potřebného množství elektřiny v místě výroby, jsou tak mnohem vyšší než emise, které vzniknou spálením potřebného množství zemního plynu v místě spotřeby. V ČR však existuje i výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů, které neprodukují žádné nebo téměř žádné emise, ale vzhledem k energetickému mixu ČR nelze z hlediska emisí považovat vytápění tepelným čerpadlem za příliš ekologické.

Seznam použitých zdrojů

- [1] ŽERAVÍK, A. *Stavíme tepelné čerpadlo*. 1. vyd. vlastním nákladem: EURO-PRINT Přerov spol. s r.o., 2003 . 312 s. ISBN: 80-239-0275-X.
- [2] BLAHOŽ, V., KADLEC, Z. *Základy sdílení tepla*. 2. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2000, 110 s. ISBN 80-902001-1-7
- [3] KAMINSKÝ, J.; VRTEK, M. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1998, 102 s. ISBN: 80-7078-445-8.
- [4] JANALÍK, J., ŠTÁVA, P. *Mechanika tekutin*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2002, 123 s. ISBN 80-956892-3-9
- [5] ČSN 06 0210: *Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění*. Český normalizační institut, 1999, 28 s.
- [6] ČSN 730504-3: *Tepelná ochrana budov*. Český normalizační institut, 1993.

- [7] www.tzb-info.cz
- [8] www.regulus.cz
- [9] www.reflexcz.cz
- [10] www.aquacup.cz
- [11] www.sea-land.it
- [12] www.emersonclimate.com
- [13] www.schiessl.cz
- [14] www.honeywell.cz
- [15] www.carel.com
- [16] www.giacomini.cz
- [17] www.aquacon.cz
- [18] www.enbra.cz
- [19] www.britefil.com
- [20] www.zelenausporam.cz
- [21] www.cez.cz
- [22] www.rwe.cz
- [23] www.sfzp.cz

Použité výpočtové programy

Microsoft Office Word 2010

Microsoft Office Excel 2010

AlfaSelect

Engineering Equation Solver (EES)

Seznam příloh

Příloha č. 1: Tepelné ztráty objektu	A1
Příloha č. 2: Výpis z programu EES	A26
Příloha č. 3: Akumulační zásobník topné vody Regulus PS2F 300	A30
Příloha č. 4: Zásobník TV Regulus RBC 400	A31
Příloha č. 5: Technická specifikace výparníku AlfaNova 52-24H	A32
Příloha č. 6: Technická specifikace kondenzátoru AlfaNova 27-40H	A34

Přílohy

Příloha č. 1: Tepelné ztráty objektu

Suterén		
Místnost 0.01 - Garáž		
Výpočtová teplota vnitřní	t_i [°C]	7
Výpočtová teplota vnější - teplota přilehlé zeminy	t_{e1} [°C]	3
Výpočtová teplota vnější - teplota vzduchu	t_{e2} [°C]	-15
Pdl - Podlaha	λ [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	l [m]
Betonová mazanina + kari síť 150/150/6	1,43	0,1
Protiradonová a parotěsná zábrana Foalbit	0,2	0,004
Podkladní beton	1,3	0,1
Plocha podlahy	S [m ²]	30,465
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	2,998
SO1 - Sokl	λ [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	l [m]
Vnitřní omítka Porotherm	0,75	0,01
Obvodové zdivo Porotherm 44 P+D	0,16	0,44
Vyrovnávací omítka Porotherm	0,8	0,02
Lepicí malta Wildstone	0,22	0,02
Obklad z umělého kamene	1,7	0,03
Plocha soklu	S [m ²]	8,288
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	0,326
SO2 - Obvodové stěny	λ [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	l [m]
Vnitřní omítka Porotherm	0,75	0,01
Obvodové zdivo Porotherm 44 P+D	0,16	0,44
Vyrovnávací omítka Porotherm	0,8	0,02
Bitumenová izolační stěrka	0,8	0,02
Geotextilie	0,92	0,002
Plocha stěn	S [m ²]	37,882
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	0,355
DO - Garážová vrata		
Sekční garážová vrata Lomax		
Plocha vrat	S [m ²]	5,67
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	1,24
Větrání a infiltrace		
Součinitel spárové provzdušnosti garážových vrat	i_{LV} [m ² ·s ⁻¹ ·Pa ^{-0,67}]	0,00025
Celková délka spáry	L [m]	9,6
Součet provzdušnosti garážových vrat	$\Sigma(i_{LV} \cdot L)$ [m ³ ·s ⁻¹ ·Pa ^{-0,67}]	0,0024
Charakteristické číslo budovy	B [Pa ^{0,67}]	8
Charakteristické číslo místnosti	M [1]	0,5

Objem místnosti	$V_m [m^3]$	70,069
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{VH} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,009
Potřebný průtok větracího vzduchu infiltrací	$V_{VP} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,010
Základní tepelná ztráta	$Q_0 [W]$	1364,106
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,753
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$p_1 [1]$	0,113
Přirážka na urychlení zátoku neuvažována	$p_2 [1]$	0
Přirážka na světovou stranu	$p_3 [1]$	0,1
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_p [W]$	1654,665
Tepelná ztráta větráním	$Q_v [W]$	278,332
Celková tepelná ztráta	$Q_c [W]$	1932,997
Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení	$Q_{C,zaokr.} [W]$	1950
Místnost 0.02 - Chodba + schodiště		
Výpočtová teplota vnitřní	$t_i [^{\circ}C]$	7
Výpočtová teplota vnější - teplota přilehlé zeminy	$t_e [^{\circ}C]$	3
Pdl - Podlaha	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Betonová mazanina + kari síť 150/150/6	1,43	0,1
Protiradonová a parotěsná zábrana foalbit	0,2	0,004
Podkladní beton	1,3	0,1
Plocha podlahy	$S [m^2]$	7,2
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	2,998
SO1 - Sokl	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka Porotherm	0,75	0,01
Obvodové zdivo Porotherm 44 P+D	0,16	0,44
Vyrovnávací omítka Porotherm	0,8	0,02
Lepicí malta Wildstone LM	0,22	0,02
Obklad z umělého kamene	1,7	0,04
Plocha soklu	$S [m^2]$	1,64
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,326
SO2 - Obvodové stěny	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka Porotherm	0,75	0,01
Obvodové zdivo Porotherm 44 P+D	0,16	0,44
Vyrovnávací omítka Porotherm	0,8	0,02
Bitumenová izolační stěrka	0,8	0,02
Geotextilie	0,92	0,002
Plocha stěn	$S [m^2]$	20,23

Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,340
Větrání a infiltrace		
Místnost není otevřena do okolí		
Objem místnosti	$V_m [m^3]$	16,56
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{VH} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,002
Základní tepelná ztráta	$Q_0 [W]$	116,007
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,998
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$p_1 [1]$	0,149
Přirážka na urychlení zátopu neuvažována	$p_2 [1]$	0
Přirážka na světovou stranu neuvažována	$p_3 [1]$	0
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_p [W]$	133,367
Tepelná ztráta větráním	$Q_v [W]$	11,960
Celková tepelná ztráta	$Q_c [W]$	145,327
Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení	$Q_{C,zaokr.} [W]$	150
Celková tepelná ztráta podlaží	$Q_{C,S} [W]$	2236,059
Celková tepelná ztráta podlaží po zaokrouhlení	$Q_{C,S,zaokr.} [W]$	2250

1.NP		
Místnost 1.01 - Obývací pokoj + K. K.		
Výpočtová teplota vnitřní	$t_i [^{\circ}C]$	21
Výpočtová teplota vnější	$t_e [^{\circ}C]$	-15
PdI - Podlaha	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Plovoucí podlaha	0,18	0,01
Pěnová fólie Mirelon	0,038	0,002
Betonová mazanina + kari síť 150/150/6	1,43	0,07
Polystyren Styrotrade EPS 100 S Stabil	0,038	0,07
Protiradonová a parotěsná zábrana foalbit	0,2	0,004
Podkladní beton	1,3	0,1
Plocha podlahy	$S [m^2]$	26,085
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,442
SO1 - Sokl	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka Porotherm	0,75	0,01
Obvodové zdivo Porotherm 44 P+D	0,16	0,44
Vyrovnávací omítka Porotherm	0,8	0,02
Lepicí malta Wildstone	0,22	0,02
Obklad z umělého kamene	1,7	0,03
Plocha soklu	$S [m^2]$	2,73
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,326

SO2 - Obvodové stěny - vnitřní omítka	λ [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	l [m]
Vnitřní omítka Porotherm	0,75	0,01
Obvodové zdivo Porotherm 44 P+D	0,16	0,44
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,02
Fasádní polystyren Styrotrade EPS 100 F	0,038	0,1
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,01
Silikonová omítka Baunit	0,8	0,01
Plocha stěn	S [m ²]	26,214
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	0,178
SO3 - Obvodové stěny - obklad za linkou 2200 mm	λ [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	l [m]
Obklad Rako Defile	1,01	0,01
Lepicí tmel Weber	0,22	0,005
Obvodové zdivo Porotherm 44 P+D	0,16	0,44
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,02
Fasádní polystyren Styrotrade EPS 100 F	0,038	0,1
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,01
Silikonová omítka Baunit	0,8	0,01
Plocha stěny	S [m ²]	10,37
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	0,178
OJ1 - Okna jednoduchá		
Plastová okna Trocal InnoNova 70 MD		
Plocha oken	S [m ²]	2,61
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	1,2
OD1 - Okno dvojité		
Plastové okno Trocal InnoNova 70 MD		
Plocha okna	S [m ²]	2,175
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	1,2
OJ2 - Francouzská okna		
Plastová okna Trocal InnoNova 70 MD		
Plocha oken	S [m ²]	9,988
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	1,2
Větrání a infiltrace		
Součinitel spárové provzdušnosti oken	i_{LV} [m ² ·s ⁻¹ ·Pa ^{-0,67}]	0,00006
Celková délka spáry	L [m]	32,24
Součet provzdušnosti oken	$\Sigma(i_{LV} \cdot L)$ [m ³ ·s ⁻¹ ·Pa ^{-0,67}]	0,002
Charakteristické číslo budovy	B [Pa ^{0,67}]	8
Charakteristické číslo místnosti	M [1]	1
Objem místnosti	V _m [m ³]	67,821

Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{VH} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,00
Potřebný průtok větracího vzduchu infiltrací	$V_{VP} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,015
Základní tepelná ztráta	$Q_0 [W]$	1253,340
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,499
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$p_1 [1]$	0,075
Přirážka na urychlení zátoku neuvažována	$p_2 [1]$	0
Přirážka na světovou stranu	$p_3 [1]$	0,1
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_p [W]$	1472,444
Tepelná ztráta větráním	$Q_v [W]$	724,239
Celková tepelná ztráta	$Q_c [W]$	2196,683
Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení	$Q_{C,zaokr.} [W]$	2200
Místnost 1.02 - Spíž		
Výpočtová teplota vnitřní	$t_i [^{\circ}C]$	15
Výpočtová teplota vnější	$t_e [^{\circ}C]$	-15
Pdl - Podlaha	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Keramická dlažba	1,01	0,01
Cementový potěr	1,14	0,01
Betonová mazanina + kari síť 150/150/6	1,43	0,07
Polystyren Styrotrade EPS 100 S Stabil	0,038	0,07
Protiradonová a parotěsná zábrana foalbit	0,2	0,004
Podkladní beton	1,3	0,1
Plocha podlahy	$S [m^2]$	3
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,460126
SO1 - Sokl	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka Porootherm	0,75	0,01
Obvodové zdivo Porootherm 44 P+D	0,16	0,44
Vyrovnávací omítka Porootherm	0,8	0,02
Lepicí malta Wildstone	0,22	0,02
Obklad z umělého kamene	1,7	0,03
Plocha soklu	$S [m^2]$	0,375
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,326
SO2 - Obvodové stěny	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka Porootherm	0,75	0,01
Obvodové zdivo Porootherm 44 P+D	0,16	0,44
Lepicí stěrka Porootherm	0,8	0,02
Fasádní polystyren Styrotrade EPS 100 F	0,038	0,1
Lepicí stěrka Porootherm	0,8	0,01
Silikonová omítka Baumit	0,8	0,01
Plocha stěny	$S [m^2]$	3,7

Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,178
Větrání a infiltrace		
Místnost není otevřena do okolí		
Objem místnosti	$V_m [m^3]$	7,8
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{vH} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,001
Základní tepelná ztráta	$Q_0 [W]$	64,856
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,306
Přirážka na vyrovnaní vlivu chladných konstrukcí	$p_1 [1]$	0,046
Přirážka na urychlení zátoku neuvažována	$p_2 [1]$	0
Přirážka na světovou stranu neuvažována	$p_3 [1]$	0
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_p [W]$	67,828
Tepelná ztráta větráním	$Q_v [W]$	42,250
Celková tepelná ztráta	$Q_c [W]$	110,078
Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení	$Q_{c,zaokr.} [W]$	110
Místnost 1.03 - WC		
Výpočtová teplota vnitřní	$t_i [^{\circ}C]$	21
Výpočtová teplota vnější	$t_e [^{\circ}C]$	-15
Pdl - Podlaha	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Keramická dlažba	1,01	0,01
Cementový potěr	1,14	0,01
Betonová mazanina + kari síť 150/150/6	1,43	0,07
Polystyren Styrotrade EPS 100 S Stabil	0,038	0,07
Protiradonová a parotěsná zábrana foalbit	0,2	0,004
Podkladní beton	1,3	0,1
Plocha podlahy	$S [m^2]$	4,08
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,460
SO1 - Sokl	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka Porotherm	0,75	0,01
Obvodové zdivo Porotherm 44 P+D	0,16	0,44
Vyrovnávací omítka Porotherm	0,8	0,02
Lepicí malta Wildstone	0,22	0,02
Obklad z umělého kamene	1,7	0,03
Plocha soklu	$S [m^2]$	0,51
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,326
SO2 - Obvodové stěny - vnitřní omítka	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka Porotherm	0,75	0,01
Obvodové zdivo Porotherm 44 P+D	0,16	0,44
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,02

Fasádní polystyren Styrotrade EPS 100 F	0,038	0,1
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,01
Silikonová omítka Baumit	0,8	0,01
Plocha stěny	$S [m^2]$	1,317
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,178
SO3 - Obvodové stěny - vnitřní obklad 2000 mm	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Obklad Rako Essencia	1,01	0,01
Lepicí tmel Weber	0,22	0,005
Obvodové zdivo Porotherm 44 P+D	0,16	0,44
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,02
Fasádní polystyren Styrotrade EPS 100 F	0,038	0,1
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,01
Silikonová omítka Baumit	0,8	0,01
Plocha stěny	$S [m^2]$	2,41
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,178
OJ - Okno jednoduché		
Plastové okno Trocal InnoNova 70 MD		
Plocha oken	$S [m^2]$	1,305
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,2
Větrání a infiltrace		
Součinitel spárové provzdušnosti oken	$i_{LV} [m^2 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,00006
Celková délka spáry	$L [m]$	4,7
Součet provzdušnosti oken	$\Sigma(i_{LV} \cdot L) [m^3 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,000282
Charakteristické číslo budovy	$B [Pa^{0,67}]$	8
Charakteristické číslo místnosti	$M [1]$	0,7
Objem místnosti	$V_m [m^3]$	10,608
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{VH} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,001
Potřebný průtok větracího vzduchu infiltrací	$V_{VP} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,002
Základní tepelná ztráta	$Q_0 [W]$	153,798
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,444
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$p_1 [1]$	0,067
Přirážka na urychlení zátoku neuvažována	$p_2 [1]$	0
Přirážka na světovou stranu	$p_3 [1]$	0
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_p [W]$	164,041
Tepelná ztráta větráním	$Q_v [W]$	73,907
Celková tepelná ztráta	$Q_c [W]$	237,947
Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení	$Q_{C,zaokr.} [W]$	240
Místnost 1.04 - Technická místnost		

Výpočtová teplota vnitřní	t_i [°C]	15
Výpočtová teplota vnější	t_e [°C]	-15
Pdl - Podlaha	λ [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	l [m]
Keramická dlažba	1,01	0,01
Cementový potěr	1,14	0,01
Betonová mazanina + kari síť 150/150/6	1,43	0,07
Polystyren Styrotrade EPS 100 S Stabil	0,038	0,07
Protiradonová a parotěsná zábrana foalbit	0,2	0,004
Podkladní beton	1,3	0,1
Plocha podlahy	S [m ²]	4,2
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	0,460
SO1 - Sokl	λ [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	l [m]
Vnitřní omítka Porotherm	0,75	0,01
Obvodové zdivo Porotherm 44 P+D	0,16	0,44
Vyrovnávací omítka Porotherm	0,8	0,02
Lepicí malta Wildstone	0,22	0,02
Obklad z umělého kamene	1,7	0,03
Plocha soklu	S [m ²]	1,245
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	0,326
SO2 - Obvodové stěny	λ [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	l [m]
Vnitřní omítka Porotherm	0,75	0,01
Obvodové zdivo Porotherm 44 P+D	0,16	0,44
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,02
Fasádní polystyren Styrotrade EPS 100 F	0,038	0,1
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,01
Silikonová omítka Baunit	0,8	0,01
Plocha stěny	S [m ²]	11,609
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	0,178
OJ - Okno jednoduché		
Plastové okno Trocal InnoNova 70 MD		
Plocha oken	S [m ²]	0,675
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	1,2
Větrání a infiltrace		
Součinitel spárové provzdušnosti oken	i_{LV} [m ² ·s ⁻¹ ·Pa ^{-0,67}]	0,00006
Celková délka spáry	L [m]	3,3
Součet provzdušnosti oken	$\Sigma(i_{LV} \cdot L)$ [m ³ ·s ⁻¹ ·Pa ^{-0,67}]	0,000198
Charakteristické číslo budovy	B [Pa ^{0,67}]	8
Charakteristické číslo místnosti	M [1]	0,7
Objem místnosti	V _m [m ³]	10,92
Intenzita výměny vzduchu	n _h [h ⁻¹]	0,5

Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{VH} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,002
Potřebný průtok větracího vzduchu infiltrací	$V_{VP} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,001
Základní tepelná ztráta	$Q_0 [W]$	156,503
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,873
Přirážka na vyrovnaní vlivu chladných konstrukcí	$p_1 [1]$	0,131
Přirážka na urychlení zátoku neuvážována	$p_2 [1]$	0
Přirážka na světovou stranu	$p_3 [1]$	0,05
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_p [W]$	184,830
Tepelná ztráta větráním	$Q_v [W]$	59,15
Celková tepelná ztráta	$Q_c [W]$	243,979
Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení	$Q_{C,zaokr.} [W]$	250
Místnost 1.05 - Zádveří		
Výpočtová teplota vnitřní	$t_i [^{\circ}C]$	15
Výpočtová teplota vnější	$t_e [^{\circ}C]$	-15
Pdl - Podlaha	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Keramická dlažba	1,01	0,01
Cementový potěr	1,14	0,01
Betonová mazanina + kari síť 150/150/6	1,43	0,07
Polystyren Styrotrade EPS 100 S Stabil	0,038	0,07
Protiradonová a parotěsná zábrana foalbit	0,2	0,004
Podkladní beton	1,3	0,1
Plocha podlahy	$S [m^2]$	4,715
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,460126
SO1 - Sokl	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka Porotherm	0,75	0,01
Obvodové zdivo Porotherm 44 P+D	0,16	0,44
Vyrovňovací omítka Porotherm	0,8	0,02
Lepicí malta Wildstone	0,22	0,02
Obklad z umělého kamene	1,7	0,03
Plocha soklu	$S [m^2]$	0,345
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,326
SO2 - Obvodové stěny	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka Porotherm	0,75	0,01
Obvodové zdivo Porotherm 44 P+D	0,16	0,44
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,02
Fasádní polystyren Styrotrade EPS 100 F	0,038	0,1
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,01
Silikonová omítka Baumit	0,8	0,01
Plocha stěny	$S [m^2]$	4,197
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,178145
DO - Vchodové dveře		

Plastové vchodové dveře Gaelan S 8000 IQ		
Plocha dveří	$S \text{ [m}^2\text{]}$	3,055
Součinitel prostupu tepla	$k \text{ (U) [W} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}\text{]}$	1,26
Větrání a infiltrace		
Součinitel spárové provzdušnosti oken	$i_{LV} \text{ [m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-0,67}\text{]}$	0,00006
Celková délka spáry	$L \text{ [m]}$	6,63
Součet provzdušnosti dveří	$\Sigma(i_{LV} \cdot L) \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-0,67}\text{]}$	0,000398
Charakteristické číslo budovy	$B \text{ [Pa}^{0,67}\text{]}$	8
Charakteristické číslo místnosti	$M \text{ [1]}$	0,7
Objem místnosti	$V_m \text{ [m}^3\text{]}$	12,259
Intenzita výměny vzduchu	$n_h \text{ [h}^{-1}\text{]}$	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{VH} \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$	0,001703
Potřebný průtok větracího vzduchu infiltrací	$V_{VP} \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$	0,002228
Základní tepelná ztráta	$Q_0 \text{ [W]}$	206,3705
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c \text{ [W} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}\text{]}$	0,558725
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$p_1 \text{ [1]}$	0,083809
Přirážka na urychlení zátopy neuvažována	$p_2 \text{ [1]}$	0
Přirážka na světovou stranu	$p_3 \text{ [1]}$	0,1
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_P \text{ [W]}$	244,3032
Tepelná ztráta větráním	$Q_V \text{ [W]}$	86,87952
Celková tepelná ztráta	$Q_C \text{ [W]}$	331,1827
Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení	$Q_{C,zaokr.} \text{ [W]}$	330
Místnost 1.06 - Chodba + schodiště		
Výpočtová teplota vnitřní	$t_i \text{ [}^\circ\text{C]}$	15
Výpočtová teplota vnější	$t_e \text{ [}^\circ\text{C]}$	-15
Pdl - Podlaha	$\lambda \text{ [W} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}\text{]}$	$l \text{ [m]}$
Keramická dlažba	1,01	0,01
Cementový potěr	1,14	0,01
Betonová mazanina + kari síť 150/150/6	1,43	0,07
Polystyren Styrotrade EPS 100 S Stabil	0,038	0,07
Protiradonová a parotěsná zábrana foalbit	0,2	0,004
Podkladní beton	1,3	0,1
Plocha podlahy	$S \text{ [m}^2\text{]}$	2,76
Součinitel prostupu tepla	$k \text{ (U) [W} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}\text{]}$	0,460126
SO - Obvodové stěny	$\lambda \text{ [W} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}\text{]}$	$l \text{ [m]}$
Vnitřní omítka Porotherm	0,75	0,01
Obvodové zdivo Porotherm 44 P+D	0,16	0,44
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,02
Fasádní polystyren Styrotrade EPS 100 F	0,038	0,1

Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,01
Silikonová omítka Baumit	0,8	0,01
Plocha stěny	$S [m^2]$	5,245
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,178145
OJ - Okno jednoduché		
Plastové okno Trocal InnoNova 70 MD		
Plocha okna	$S [m^2]$	0,675
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,2
Větrání a infiltrace		
Součinitel spárové provzdušnosti oken	$i_{LV} [m^2 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,00006
Celková délka spáry	$L [m]$	3,3
Součet provzdušnosti oken	$\Sigma(i_{LV} \cdot L) [m^3 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,000198
Charakteristické číslo budovy	$B [Pa^{0,67}]$	8
Charakteristické číslo místnosti	$M [1]$	0,7
Objem místnosti	$V_m [m^3]$	25,688
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{VH} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,003568
Potřebný průtok větracího vzduchu infiltrací	$V_{VP} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,001109
Základní tepelná ztráta	$Q_0 [W]$	90,4296
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,347272
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$p_1 [1]$	0,052091
Přirážka na urychlení zátoku neuvažována	$p_2 [1]$	0
Přirážka na světovou stranu	$p_3 [1]$	0,1
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_p [W]$	104,1831
Tepelná ztráta větráním	$Q_v [W]$	139,1433
Celková tepelná ztráta	$Q_c [W]$	243,3264
Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení	$Q_{C,zaokr.} [W]$	240
Místnost 1.07 - Pracovna		
Výpočtová teplota vnitřní	$t_i [^{\circ}C]$	21
Výpočtová teplota vnější	$t_e [^{\circ}C]$	-15
SO1 - Obvodové stěny	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka Porotherm	0,75	0,01
Obvodové zdivo Porotherm 44 P+D	0,16	0,44
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,02
Fasádní polystyren Styrotrade EPS 100 F	0,038	0,1
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,01
Silikonová omítka Baumit	0,8	0,01
Plocha stěny	$S [m^2]$	15,451
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,178

OJ1 - Okno jednoduché		
Plastové okno Trocal InnoNova 70 MD		
Plocha okna	$S [m^2]$	1,305
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,2
OJ2 - Francouzské okno		
Plastové okno Trocal InnoNova 70 MD		
Plocha okna	$S [m^2]$	4,113
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,2
Větrání a infiltrace		
Součinitel spárové provzdušnosti oken	$i_{LV} [m^2 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,00006
Celková délka spáry	$L [m]$	11,15
Součet provzdušnosti oken	$\Sigma(i_{LV} \cdot L) [m^3 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,000669
Charakteristické číslo budovy	$B [Pa^{0,67}]$	8
Charakteristické číslo místnosti	$M [1]$	0,7
Objem místnosti	$V_m [m^3]$	32,292
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{VH} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,005
Potřebný průtok větracího vzduchu infiltrací	$V_{VP} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,004
Základní tepelná ztráta	$Q_0 [W]$	333,124
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,443
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$p_1 [1]$	0,067
Přirážka na urychlení zátopy neuvažována	$p_2 [1]$	0
Přirážka na světovou stranu	$p_3 [1]$	0,05
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_p [W]$	371,937
Tepelná ztráta větráním	$Q_v [W]$	209,898
Celková tepelná ztráta	$Q_c [W]$	581,835
Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení	$Q_{c,zaokr.} [W]$	580
Celková tepelná ztráta podlaží	$Q_{c,1NP} [W]$	3878,965
Celková tepelná ztráta podlaží po zaokrouhlení	$Q_{c,1NP,zaokr.} [W]$	3900

2. NP		
Místnost 2.01 - Dětský pokoj 1		
Výpočtová teplota vnitřní	$t_i [^{\circ}C]$	21
Výpočtová teplota vnější	$t_e [^{\circ}C]$	-15
SO1 - Obvodové stěny	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka Porotherm	0,75	0,01
Obvodové zdivo Porotherm 44 P+D	0,16	0,44
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,02

Fasádní polystyren Styrotrade EPS 100 F	0,038	0,1
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,01
Silikonová omítka Baunit	0,8	0,01
Plocha stěn	$S [m^2]$	13,071
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,178
SO2 - Prostup přes příčku a vnější zeď	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka Porotherm	0,75	0,01
Příčky Ytong	0,12	0,1
Vzduchová mezera	0,0262	0,65
Obvodové zdivo Porotherm 44 P+D	0,16	0,44
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,02
Fasádní polystyren Styrotrade EPS 100 F	0,038	0,1
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,01
Silikonová omítka Baunit	0,8	0,01
Plocha stěny	$S [m^2]$	0,314
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,03174
Sch1 - Střecha - vstup přes krokve	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Orsil Orstrop pod krokvemi	0,041	0,08
Krokve 100/160, vzd. 970mm	0,31	0,12
Vzduchová mezera		
Difuzní folie		
Střešní krytina - tašky Tondach na latích		
Plocha krokví	$S [m^2]$	1,1525
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,37299
Sch2 - Střecha - vstup přes izolaci mezi krokvemi	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Orsil Orstrop pod krokvemi	0,041	0,08
Orsil Orstrop mezi krokvemi	0,041	0,12
Vzduchová mezera		
Difuzní folie		
Střešní krytina - tašky Tondach na latích		
Plocha izolace	$S [m^2]$	8,957
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,191
Str1 - Strop - vstup přes kleštiny	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Kleštiny 80/160, vzd. 1000mm	0,31	0,16

Plocha kleštin	$S \text{ [m}^2\text{]}$	1,144
Součinitel prostupu tepla	$k \text{ (U) [W} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}\text{]}$	1,063
Str2 - Strop - prostup přes izolaci mezi kleštinami	$\lambda \text{ [W} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}\text{]}$	$l \text{ [m]}$
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Orsil Orstrop mezi kleštinami	0,041	0,2
Plocha izolace	$S \text{ [m}^2\text{]}$	10,259
Součinitel prostupu tepla	$k \text{ (U) [W} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}\text{]}$	0,189
OJ1 - Balkonové dveře		
Balkonové dveře Trocal InnoNova 70 MD		
Plocha dveří	$S \text{ [m}^2\text{]}$	1,89
Součinitel prostupu tepla	$k \text{ (U) [W} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}\text{]}$	1,2
OJ2 - Střešní okno		
Plastové okno s dřevěným jádrem Velux GGU 60		
Plocha okna	$S \text{ [m}^2\text{]}$	0,920
Součinitel prostupu tepla	$k \text{ (U) [W} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}\text{]}$	1,3
Větrání a infiltrace		
Součinitel spárové provzdušnosti oken	$i_{LV} \text{ [m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-0,67}\text{]}$	0,00006
Celková délka spáry	$L \text{ [m]}$	9,92
Součet provzdušnosti oken	$\Sigma(i_{LV} \cdot L) \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-0,67}\text{]}$	0,000595
Charakteristické číslo budovy	$B \text{ [Pa}^{0,67}\text{]}$	8
Charakteristické číslo místnosti	$M \text{ [1]}$	0,7
Objem místnosti	$V_m \text{ [m}^3\text{]}$	44,407
Intenzita výměny vzduchu	$n_h \text{ [h}^{-1}\text{]}$	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{VH} \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$	0,006
Potřebný průtok větracího vzduchu infiltrací	$V_{VP} \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$	0,003
Základní tepelná ztráta	$Q_0 \text{ [W]}$	345,882
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c \text{ [W} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}\text{]}$	0,255
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$p_1 \text{ [1]}$	0,038
Přirážka na urychlení zátopy neuvažována	$p_2 \text{ [1]}$	0
Přirážka na světovou stranu	$p_3 \text{ [1]}$	0
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_p \text{ [W]}$	359,102
Tepelná ztráta větráním	$Q_v \text{ [W]}$	288,649
Celková tepelná ztráta	$Q_c \text{ [W]}$	647,751
Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení	$Q_{C,zaokr.} \text{ [W]}$	650
Místnost 2.02 - Šatna		
Výpočtová teplota vnitřní	$t_i \text{ [}^\circ\text{C]}$	15
Výpočtová teplota vnější	$t_e \text{ [}^\circ\text{C]}$	-15

SO - Prostup přes příčku a vnější zeď	λ [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	l [m]
Vnitřní omítka Porotherm	0,75	0,01
Příčky Ytong	0,12	0,1
Vzduchová mezera	0,0262	0,65
Obvodové zdivo Porotherm 44 P+D	0,16	0,44
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,02
Fasádní polystyren Styrotrade EPS 100 F	0,038	0,1
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,01
Silikonová omítka Baumit	0,8	0,01
Plocha stěny	S [m ²]	1,925
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	0,03174
Sch1 - Střecha - prostup přes krokve	λ [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	l [m]
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Orsil Orstrop pod krokvemi	0,041	0,08
Krokve 100/160, vzd. 970mm	0,31	0,12
Vzduchová mezera		
Difuzní folie		
Střešní krytina - tašky Tondach na latích		
Plocha krokví	S [m ²]	0,2305
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	0,37299
Sch2 - Střecha - prostup přes izolaci mezi krokvemi	λ [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	l [m]
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Orsil Orstrop pod krokvemi	0,041	0,08
Orsil Orstrop mezi krokvemi	0,041	0,12
Vzduchová mezera		
Difuzní folie		
Střešní krytina - tašky Tondach na latích		
Plocha izolace	S [m ²]	2,88285
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	0,191543
Str1 - Strop - prostup přes kleštiny	λ [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	l [m]
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Kleštiny 80/160, vzd. 1000mm	0,31	0,16
Plocha kleštin	S [m ²]	0,191
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	1,063
Str2 - Strop - prostup přes izolaci mezi kleštinami	λ [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	l [m]
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Orsil Orstrop mezi kleštinami	0,041	0,2

Plocha izolace	$S [m^2]$	3,979
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,189
OJ - Střešní okno		
Plastové okno s dřevěným jádrem Velux GGU 60		
Plocha okna	$S [m^2]$	0,920
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,3
Větrání a infiltrace		
Součinitel spárové provzdušnosti oken	$i_{LV} [m^2 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,00006
Celková délka spáry	$L [m]$	3,92
Součet provzdušnosti oken	$\Sigma(i_{LV} \cdot L) [m^3 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,000235
Charakteristické číslo budovy	$B [Pa^{0,67}]$	8
Charakteristické číslo místnosti	$M [1]$	0,7
Objem místnosti	$V_m [m^3]$	16,264
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{VH} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,002
Potřebný průtok větracího vzduchu infiltrací	$V_{VP} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,001
Základní tepelná ztráta	$Q_0 [W]$	69,258
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,228
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$p_1 [1]$	0,034
Přirážka na urychlení zátoku neuvažována	$p_2 [1]$	0
Přirážka na světovou stranu	$p_3 [1]$	-0,05
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_p [W]$	68,163
Tepelná ztráta větráním	$Q_v [W]$	88,099
Celková tepelná ztráta	$Q_c [W]$	156,262
Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení	$Q_{C,zaokr.} [W]$	160
Místnost 2.03 - Ložnice		
Výpočtová teplota vnitřní	$t_i [^{\circ}C]$	21
Výpočtová teplota vnější	$t_e [^{\circ}C]$	-15
SO1 - Obvodové stěny	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka Porotherm	0,75	0,01
Obvodové zdivo Porotherm 44 P+D	0,16	0,44
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,02
Fasádní polystyren Styrotrade EPS 100 F	0,038	0,1
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,01
Silikonová omítka Baumit	0,8	0,01
Plocha stěn	$S [m^2]$	12,059
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,178

SO2 - Prostup přes příčku a vnější zeď	λ [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	l [m]
Vnitřní omítka Porotherm	0,75	0,01
Příčky Ytong	0,12	0,1
Vzduchová mezera	0,0262	0,65
Obvodové zdivo Porotherm 44 P+D	0,16	0,44
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,02
Fasádní polystyren Styrotrade EPS 100 F	0,038	0,1
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,01
Silikonová omítka Baumit	0,8	0,01
Plocha stěny	S [m ²]	0,402
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	0,032
Sch1 - Střecha - prostup přes krokve	λ [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	l [m]
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Orsil Orstrop pod krokvemi	0,041	0,08
Krokve 100/160, vzd. 970mm	0,31	0,12
Vzduchová mezera		
Difuzní folie		
Střešní krytina - tašky Tondach na latích		
Plocha krokví	S [m ²]	0,922
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	0,373
Sch2 - Střecha - prostup přes izolaci mezi krokvemi	λ [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	l [m]
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Orsil Orstrop pod krokvemi	0,041	0,08
Orsil Orstrop mezi krokvemi	0,041	0,12
Vzduchová mezera		
Difuzní folie		
Střešní krytina - tašky Tondach na latích		
Plocha izolace	S [m ²]	7,066
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	0,192
Str1 - Strop - prostup přes kleštiny	λ [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	l [m]
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Kleštiny 80/160, vzd. 1000mm	0,31	0,16
Plocha kleštin	S [m ²]	0,953
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	1,063
Str2 - Strop - prostup přes izolaci mezi kleštinami	λ [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	l [m]
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035

Orsil Orstrop mezi kleštinami	0,041	0,2
Plocha izolace	$S [m^2]$	8,257
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,189
OJ1 - Francouzské okno		
Plastové okno Trocal InnoNova 70 MD		
Plocha okna	$S [m^2]$	1,89
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,2
OJ2 - Střešní okno		
Plastové okno s dřevěným jádrem Velux GGU 60		
Plocha okna	$S [m^2]$	0,920
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,3
Větrání a infiltrace		
Součinitel spárové provzdušnosti oken	$i_{LV} [m^2 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,00006
Celková délka spáry	$L [m]$	9,92
Součet provzdušnosti oken	$\Sigma(i_{LV} \cdot L) [m^3 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,000595
Charakteristické číslo budovy	$B [Pa^{0,67}]$	8
Charakteristické číslo místnosti	$M [1]$	0,7
Objem místnosti	$V_m [m^3]$	35,269
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{VH} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,005
Potřebný průtok větracího vzduchu infiltrací	$V_{VP} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,003
Základní tepelná ztráta	$Q_0 [W]$	312,523
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,267
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$p_1 [1]$	0,040
Přirážka na urychlení zátoku neuvažována	$p_2 [1]$	0
Přirážka na světovou stranu	$p_3 [1]$	0
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_P [W]$	325,057
Tepelná ztráta větráním	$Q_V [W]$	229,252
Celková tepelná ztráta	$Q_C [W]$	554,309
Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení	$Q_{C,zaokr.} [W]$	560
Místnost 2.04 - Koupelna		
Výpočtová teplota vnitřní	$t_i [^{\circ}C]$	24
Výpočtová teplota vnější	$t_e [^{\circ}C]$	-15
SO1 - Obvodové stěny - vnitřní omítka	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka Porotherm	0,75	0,01
Obvodové zdivo Porotherm 44 P+D	0,16	0,44
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,02
Fasádní polystyren Styrotrade EPS 100 F	0,038	0,1
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,01

Silikonová omítka Baumit	0,8	0,01
Plocha stěn	$S [m^2]$	4,973
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,178
SO2 - Obvodové stěny - vnitřní obklad 2000 mm	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Obklad Rako Essencia	1,01	0,01
Lepicí tmel Weber	0,22	0,005
Obvodové zdivo Porotherm 44 P+D	0,16	0,44
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,02
Fasádní polystyren Styrotrade EPS 100 F	0,038	0,1
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,01
Silikonová omítka Baumit	0,8	0,01
Plocha stěny	$S [m^2]$	4,226
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,178
Sch1 - Střecha - prostup přes krokve	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Orsil Orstrop pod krokvemi	0,041	0,08
Krokve 100/160, vzd. 970mm	0,31	0,12
Vzduchová mezera		
Difuzní folie		
Střešní krytina - tašky Tondach na latích		
Plocha krokví	$S [m^2]$	0,692
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,373
Sch2 - Střecha - prostup přes izolaci mezi krokvemi	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Orsil Orstrop pod krokvemi	0,041	0,08
Orsil Orstrop mezi krokvemi	0,041	0,12
Vzduchová mezera		
Difuzní folie		
Střešní krytina - tašky Tondach na latích		
Plocha izolace	$S [m^2]$	4,379
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,192
Str1 - Strop - prostup přes kleštiny	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Kleštiny 80/160, vzd. 1000mm	0,31	0,16
Plocha kleštin	$S [m^2]$	0,499
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,063
Str2 - Strop - prostup přes izolaci mezi	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$

kleštinami		
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Orsil Orstrop mezi kleštinami	0,041	0,2
Plocha izolace	$S [m^2]$	4,081
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,189
OJ - Francouzské okno		
Plastové okno Trocal InnoNova 70 MD		
Plocha okna	$S [m^2]$	1,89
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,2
Větrání a infiltrace		
Součinitel spárové provzdušnosti oken	$i_{LV} [m^2 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,00006
Celková délka spáry	$L [m]$	6
Součet provzdušnosti oken	$\Sigma(i_{LV} \cdot L) [m^3 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,00036
Charakteristické číslo budovy	$B [Pa^{0,67}]$	8
Charakteristické číslo místnosti	$M [1]$	0,7
Objem místnosti	$V_m [m^3]$	18,254
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{VH} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,003
Potřebný průtok větracího vzduchu infiltrací	$V_{VP} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,002
Základní tepelná ztráta	$Q_0 [W]$	222,969
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,346
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$p_1 [1]$	0,052
Přirážka na urychlení zátoku neuvažována	$p_2 [1]$	0
Přirážka na světovou stranu	$p_3 [1]$	0,05
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_p [W]$	245,696
Tepelná ztráta větráním	$Q_v [W]$	128,541
Celková tepelná ztráta	$Q_c [W]$	374,237
Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení	$Q_{C,zaokr.} [W]$	370
Místnost 2.05 - WC		
Výpočtová teplota vnitřní	$t_i [^{\circ}C]$	21
Výpočtová teplota vnější	$t_e [^{\circ}C]$	-15
SO1 - Prostup přes příčku a vnější zeď	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka Porotherm	0,75	0,01
Příčky Ytong	0,12	0,1
Vzduchová mezera	0,0262	0,65
Obvodové zdivo Porotherm 44 P+D	0,16	0,44
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,02

Fasádní polystyren Styrotrade EPS 100 F	0,038	0,1
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,01
Silikonová omítka Baumit	0,8	0,01
Plocha stěny	$S [m^2]$	0,063
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,032
SO2 - Obvodové stěny - vnitřní obklad 1500 mm	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Obklad Rako Essencia	1,01	0,01
Lepicí tmel Weber	0,22	0,005
Obvodové zdivo Porotherm 44 P+D	0,16	0,44
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,02
Fasádní polystyren Styrotrade EPS 100 F	0,038	0,1
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,01
Silikonová omítka Baumit	0,8	0,01
Plocha stěny	$S [m^2]$	1,35
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,178
Sch1 - Střecha - prostup přes krokve	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Orsil Orstrop pod krokvemi	0,041	0,08
Krokve 100/160, vzd. 970mm	0,31	0,12
Vzduchová mezera		
Difuzní folie		
Střešní krytina - tašky Tondach na latích		
Plocha krokví	$S [m^2]$	0,174
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,373
Sch2 - Střecha - prostup přes izolaci mezi krokvemi	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Orsil Orstrop pod krokvemi	0,041	0,08
Orsil Orstrop mezi krokvemi	0,041	0,12
Vzduchová mezera		
Difuzní folie		
Střešní krytina - tašky Tondach na latích		
Plocha izolace	$S [m^2]$	1,395
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,191
Str1 - Strop - prostup přes kleštiny	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Kleštiny 80/160, vzd. 1000mm	0,31	0,16
Plocha kleštin	$S [m^2]$	0,039
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,063

Str2 - Strop - prostup přes izolaci mezi kleštinami	λ [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	l [m]
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Orsil Orstrop mezi kleštinami	0,041	0,2
Plocha izolace	S [m ²]	0,408
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	0,189
Větrání a infiltrace		
Místnost není otevřena do okolí		
Objem místnosti	V _m [m ³]	3,321
Intenzita výměny vzduchu	n _h [h ⁻¹]	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	V _{VH} [m ³ ·s ⁻¹]	0,000461
Základní tepelná ztráta	Q ₀ [W]	22,168
Průměrný součinitel prostupu tepla	k _c [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	0,296
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	p ₁ [1]	0,044
Přirážka na urychlení zátoku neuvažována	p ₂ [1]	0
Přirážka na světovou stranu neuvažována	p ₃ [1]	0,1
Tepelná ztráta prostupem tepla	Q _p [W]	25,369
Tepelná ztráta větráním	Q _v [W]	21,590
Celková tepelná ztráta	Q_c [W]	46,959
Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení	Q_{C,zaokr.} [W]	50
Místnost 2.06 - Komora		
Výpočtová teplota vnitřní	t _i [°C]	15
Výpočtová teplota vnější	t _e [°C]	-15
SO - Obvodová stěna	λ [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	l [m]
Vnitřní omítka Porotherm	0,75	0,01
Obvodové zdivo Porotherm 44 P+D	0,16	0,44
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,02
Fasádní polystyren Styrotrade EPS 100 F	0,038	0,1
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,01
Silikonová omítka Baumit	0,8	0,01
Plocha stěny	S [m ²]	1,595
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	0,178
Sch1 - Střecha - prostup přes krokve	λ [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	l [m]
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Orsil Orstrop pod krokvemi	0,041	0,08
Krokve 100/160, vzd. 970mm	0,31	0,12
Vzduchová mezera		
Difuzní folie		

Střešní krytina - tašky Tondach na latích		
Plocha krokví	$S [m^2]$	0,231
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,373
Sch2 - Střecha - prostup přes izolaci mezi krokvemi	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Orsil Orstrop pod krokvemi	0,041	0,08
Orsil Orstrop mezi krokvemi	0,041	0,12
Vzduchová mezera		
Difuzní folie		
Střešní krytina - tašky Tondach na latích		
Plocha izolace	$S [m^2]$	1,662
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,192
Str1 - Strop - prostup přes kleštiny	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Kleštiny 80/160, vzd. 1000mm	0,31	0,16
Plocha kleštin	$S [m^2]$	0,333
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,164
Str2 - Strop - prostup přes izolaci mezi kleštinami	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Orsil Orstrop mezi kleštinami	0,041	0,2
Plocha izolace	$S [m^2]$	2,686
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,189
Větrání a infiltrace		
Místnost není otevřena do okolí		
Objem místnosti	$V_m [m^3]$	12,031
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{vH} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,002
Základní tepelná ztráta	$Q_0 [W]$	32,856
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,168
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$p_1 [1]$	0,025
Přirážka na urychlení zátoku neuvažována	$p_2 [1]$	0
Přirážka na světovou stranu	$p_3 [1]$	0,1
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_p [W]$	36,971
Tepelná ztráta větráním	$Q_v [W]$	65,169
Celková tepelná ztráta	$Q_c [W]$	102,140
Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení	$Q_{C,zaokr.} [W]$	100

Místnost 2.07 - Chodba + schodiště		
Výpočtová teplota vnitřní	t_i [°C]	15
Výpočtová teplota vnější	t_e [°C]	-15
SO1 - Obvodové stěny	λ [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	l [m]
Vnitřní omítka Porotherm	0,75	0,01
Obvodové zdivo Porotherm 44 P+D	0,16	0,44
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,02
Fasádní polystyren Styrotrade EPS 100 F	0,038	0,1
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,01
Silikonová omítka Baumit	0,8	0,01
Plocha stěn	S [m ²]	2,200
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	0,178
Sch1 - Střecha - prostup přes krokve	λ [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	l [m]
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Orsil Orstrop pod krokvemi	0,041	0,08
Krokve 100/160, vzd. 970mm	0,31	0,12
Vzduchová mezera		
Difuzní folie		
Střešní krytina - tašky Tondach na latích		
Plocha krokví	S [m ²]	0,461
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	0,373
Sch2 - Střecha - prostup přes izolaci mezi krokvemi	λ [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	l [m]
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Orsil Orstrop pod krokvemi	0,041	0,08
Orsil Orstrop mezi krokvemi	0,041	0,12
Vzduchová mezera		
Difuzní folie		
Střešní krytina - tašky Tondach na latích		
Plocha izolace	S [m ²]	4,149
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	0,192
Str1 - Strop - prostup přes kleštiny	λ [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	l [m]
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Kleštiny 80/160, vzd. 1000mm	0,31	0,16
Plocha kleštin	S [m ²]	0,56
Součinitel prostupu tepla	k (U) [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	1,063
Str2 - Strop - prostup přes izolaci mezi kleštinami	λ [W·m ⁻¹ K ⁻¹]	l [m]

Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Orsil Orstrop mezi kleštinami	0,041	0,2
Plocha izolace	$S [m^2]$	7,174
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,189
Větrání a infiltrace		
Místnost není otevřena do okolí		
Objem místnosti	$V_m [m^3]$	25,519
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{vH} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,004
Základní tepelná ztráta	$Q_0 [W]$	67,085
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,154
Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí	$p_1 [1]$	0,023
Přirážka na urychlení zátoku neuvažována	$p_2 [1]$	0
Přirážka na světovou stranu	$p_3 [1]$	0,1
Tepelná ztráta prostupem tepla	$Q_p [W]$	75,341
Tepelná ztráta větráním	$Q_v [W]$	138,232
Celková tepelná ztráta	$Q_c [W]$	213,573
Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení	$Q_{c,zaokr.} [W]$	220
Místnost 2.08 - Dětský pokoj 2		
Výpočtová teplota vnitřní	$t_i [^{\circ}C]$	21
Výpočtová teplota vnější	$t_e [^{\circ}C]$	-15
SO1 - Obvodové stěny	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Vnitřní omítka Porotherm	0,75	0,01
Obvodové zdivo Porotherm 44 P+D	0,16	0,44
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,02
Fasádní polystyren Styrotrade EPS 100 F	0,038	0,1
Lepicí stěrka Porotherm	0,8	0,01
Silikonová omítka Baumit	0,8	0,01
Plocha stěn	$S [m^2]$	10,794
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,178
Sch1 - Střecha - prostup přes krokve	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Orsil Orstrop pod krokvemi	0,041	0,08
Krokve 100/160, vzd. 970mm	0,31	0,12
Vzduchová mezera		
Difuzní folie		
Střešní krytina - tašky Tondach na latích		
Plocha krokví	$S [m^2]$	0,922
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,373
Sch2 - Střecha - prostup přes izolaci mezi	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$

krokvemi		
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Orsil Orstrop pod krokvemi	0,041	0,08
Orsil Orstrop mezi krokvemi	0,041	0,12
Vzduchová mezera		
Difuzní folie		
Střešní krytina - tašky Tondach na latích		
Plocha izolace	$S [m^2]$	7,491
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,192
Str1 - Strop - prostup přes kleštiny	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Kleštiny 80/160, vzd. 1000mm	0,31	0,16
Plocha kleštin	$S [m^2]$	0,666
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,063
Str2 - Strop - prostup přes izolaci mezi kleštinami	$\lambda [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	$l [m]$
Sádrokarton	0,22	0,015
Parotěsná folie	0,033	0,0035
Orsil Orstrop mezi kleštinami	0,041	0,2
Plocha izolace	$S [m^2]$	6,933
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,189
OJ1 - Balkonové dveře		
Balkonové dveře Trocal InnoNova 70 MD		
Plocha dveří	$S [m^2]$	1,89
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,2
OJ2 - Střešní okno		
Plastové okno s dřevěným jádrem Velux GGU 60		
Plocha okna	$S [m^2]$	0,920
Součinitel prostupu tepla	$k (U) [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	1,3
Větrání a infiltrace		
Součinitel spárové provzdušnosti oken	$i_{LV} [m^2 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,00006
Celková délka spáry	$L [m]$	9,92
Součet provzdušnosti oken	$\Sigma(i_{LV} \cdot L) [m^3 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}]$	0,000595
Charakteristické číslo budovy	$B [Pa^{0,67}]$	8
Charakteristické číslo místnosti	$M [1]$	0,7
Objem místnosti	$V_m [m^3]$	30,286
Intenzita výměny vzduchu	$n_h [h^{-1}]$	0,5
Potřebný průtok větracího vzduchu	$V_{VH} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,004
Potřebný průtok větracího vzduchu infiltrací	$V_{VP} [m^3 \cdot s^{-1}]$	0,003
Základní tepelná ztráta	$Q_0 [W]$	294,983
Průměrný součinitel prostupu tepla	$k_c [W \cdot m^{-1} K^{-1}]$	0,277

Přirážka na vyrovnaní vlivu chladných konstrukcí	p_1 [1]	0,042
Přirážka na urychlení zátoku neuvažována	p_2 [1]	0
Přirážka na světovou stranu	p_3 [1]	0,05
Tepelná ztráta prostupem tepla	Q_p [W]	321,974
Tepelná ztráta větráním	Q_v [W]	196,856
Celková tepelná ztráta	Q_c [W]	518,830
Celková tepelná ztráta po zaokrouhlení	$Q_{c,zaokr.}$ [W]	520
Celková tepelná ztráta podlaží	$Q_{c,2NP}$ [W]	2560,828
Celková tepelná ztráta podlaží po zaokrouhlení	$Q_{c,2NP,zaokr.}$ [W]	2600
Celková tepelná ztráta rodinného domu	$Q_{c,RD}$ [W]	8637,416
Celková tepelná ztráta rodinného domu po zaokrouhlení	$Q_{c,RD,zaokr.}$ [W]	8650

Příloha č. 2: Výpis z programu EES:

$Q_T=8$ [kW]

$t_K=55$ [°C]

$T[0]=5$ [°C]

$\Delta T_{at_V}=3$ [°C]

$\Delta T_{at_K}=3$ [°C]

$P[1]=\text{Pressure}(\text{R407C}, T=T[0], h=h_{01})$

$P[2]=\text{Pressure}(\text{R407C}, T=T_K, h=h_{02})$

$P[3]=P[2]$

$P[4]=P[1]$

$P[5]=P[1]$

$h_{01}=\text{Enthalpy}(\text{R407C}, T=T[0], x=1)$

$h[1]=\text{Enthalpy}(\text{R407C}, T=T[1], P=P[1])$

$h_{02}=\text{Enthalpy}(\text{R407C}, T=T_K, x=1)$

$h_{2_ie}=\text{Enthalpy}(\text{R407C}, P=P[2], s=s[1])$

$h_{03}=\text{Enthalpy}(\text{R407C}, T=T[4], x=0)$

$h[3]=\text{Enthalpy}(\text{R407C}, T=T[5], P=P[2])$

$h[4]=h[3]$

$h[5]=h[1]$

$s[0]=\text{Entropy}(\text{R407C}, T=T[0], x=1)$

$s[1]=\text{Entropy}(\text{R407C}, T=T[0]+\Delta T_{at_V}, P=P[1])$

$s[2]=\text{Entropy}(\text{R407C}, T=T[2], P=P[2])$

$s[3]=\text{Entropy}(\text{R407C}, T=T[3], x=1)$

$s[4]=\text{Entropy}(\text{R407C}, T=T[4], x=0)$

$s[5]=\text{Entropy}(\text{R407C}, T=T[5], P=P[2])$

$s[6]=\text{Entropy}(\text{R407C}, T=T[6], P=P[1])$

$s[7]=s[0]$

$x_4=\text{Quality}(\text{R407C}, T=T[6], h=h[4])$

$T[1]=T[0]+\Delta T_{at_V}$

$T_{2_ie}=\text{Temperature}(\text{R407C}, P=P[2], h=h_{2_ie})$

```

T[2]=Temperature(R407C,P=P[2],h=h[2])
T[3]=Temperature(R407C,P=P[2],x=1)
T[4]=Temperature(R407C,P=P[2],x=0)
T[5]=T[4]-DELTAt_K
T[6]=Temperature(R407C,P=P[1],h=h[4])
T[7]=T[0]

eta_kopresoru=0.7
eta_kopresoru=(h2_ie-h[1])/(h[2]-h[1])

sigma=P[2]/P[1]

qq_T=h[2]-h[3]
qq_T_t=h2_ie-h[3]
qq_0=h[1]-h[4]
a_t=h2_ie-h[1]
a=h[2]-h[1]

epsilon_T=qq_T/a
epsilon_T_t=qq_T_t/a_t
epsilon_T_sk=Q_T/(P_kopresoru+P_čerpádla)

epsilon_ch=qq_0/a

phi=Q_T/Q_0

Q_T=qq_T*m_dot
Q_0=qq_0*m_dot

m_dot_h=m_dot*3600

P_čerpádla=0.37
P_kopresoru=a*m_dot
P_kopresoru_t=a_t*m_dot

Kontrola=Q_T-(Q_0+P_kopresoru)

{Výpočet potrubí}

rho_sací=Density(R407C,T=T[1],P=P[1])
rho_výtlačná=Density(R407C,T=T[2],P=P[2])
rho_kapalina=Density(R407C,T=T[5],P=P[2])

V_dot_d=m_dot/rho_sací*3600
V_dot_sací=m_dot/rho_sací
V_dot_výtlačná=m_dot/rho_výtlačná
V_dot_kapalina=m_dot/rho_kapalina

w_sací=6
w_výtlačná=10
w_kapalina=0.6

V_dot_sací=pi*d_sací^2/4*w_sací
V_dot_výtlačná=pi*d_výtlačná^2/4*w_sací
V_dot_kapalina=pi*d_kapalina^2/4*w_kapalina

```

ES Solution

Main

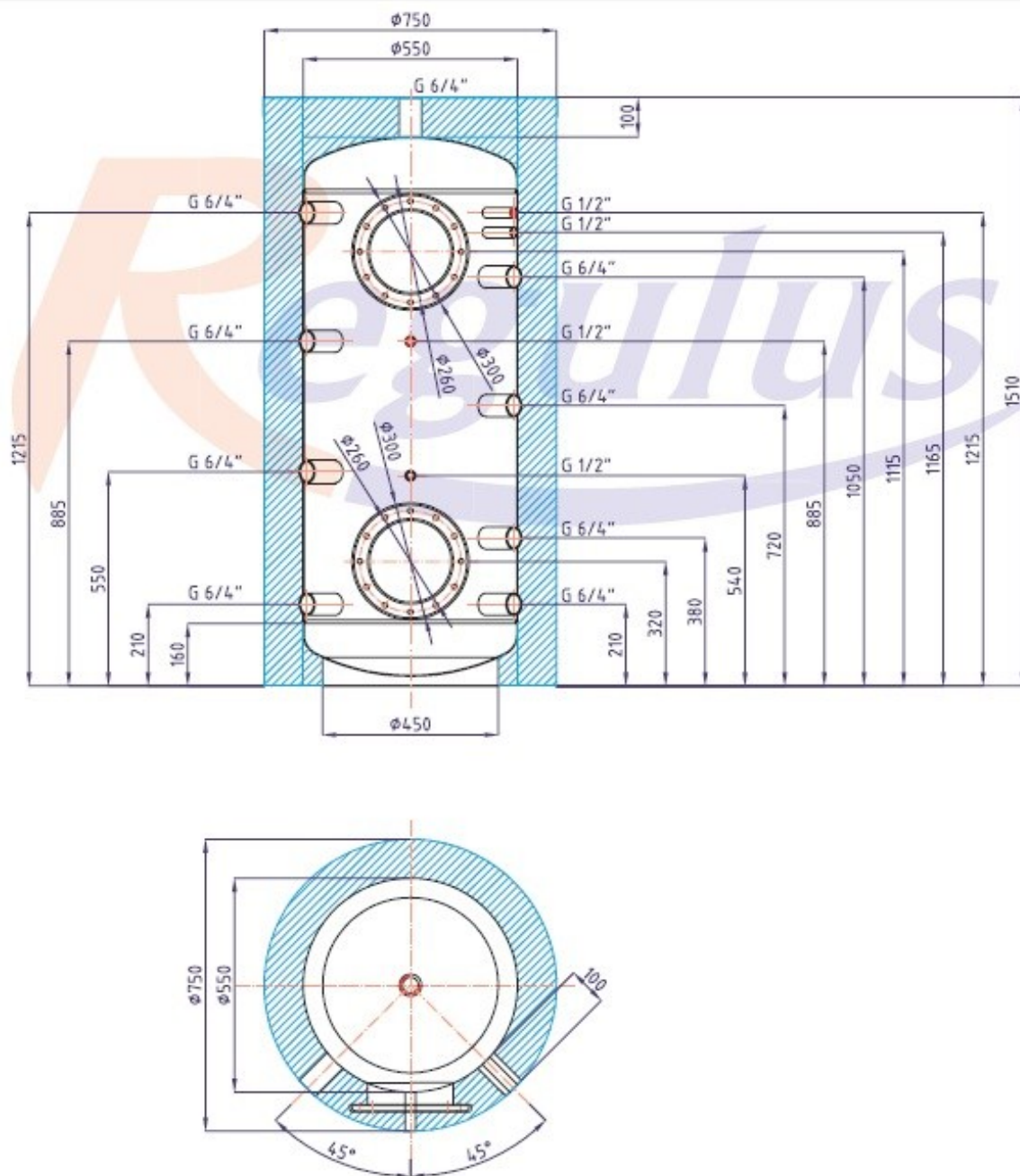
Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

$a = 51.28$ [kJ/kg]	$a_t = 35.89$ [kJ/kg]
$\Delta t_K = 3$ [°C]	$\Delta t_V = 3$ [°C]
$d_{kapalina} = 0.009331$ [m]	$d_{saci} = 0.02021$ [m]
$d_{výtláčná} = 0.01064$ [m]	$\varepsilon_{ch} = 2.675$
$\varepsilon_T = 3.675$	$\varepsilon_{T,sk} = 3.141$
$\varepsilon_{T,t} = 4.821$	$\eta_{kompresoru} = 0.7$
$h_{01} = 269.2$ [kJ/kg]	$h_{02} = 287.5$ [kJ/kg]
$h_{03} = 139.8$ [kJ/kg]	$h_{2,ie} = 307.7$ [kJ/kg]
Kontrola = 0 [kW]	$\dot{m} = 0.04246$ [kg/s]
$\dot{m}_h = 152.8$ [kg/s]	$\phi = 1.374$
$P_{kompresoru} = 2.177$	$P_{kompresoru,t} = 1.524$ [kW]
$P_{čerpadla} = 0.37$ [kW]	$qq_0 = 137.1$ [kJ/kg]
$qq_T = 188.4$ [kJ/kg]	$qq_{T,t} = 173$ [kJ/kg]
$Q_0 = 5.823$ [kW]	$Q_T = 8$ [kW]
$\rho_{kapalina} = 1035$ [kg/m³]	$\rho_{saci} = 22.06$ [kg/m³]
$\rho_{výtláčná} = 79.66$ [kg/m³]	$\sigma = 4.133$
$T_{2,ie} = 72.38$ [°C]	$t_K = 55$ [°C]
$\dot{V}_d = 6.928$ [m³/h]	$\dot{V}_{kapalina} = 0.00004103$ [m³/s]
$\dot{V}_{saci} = 0.001924$ [m³/s]	$\dot{V}_{výtláčná} = 0.000533$ [m³/s]
$w_{kapalina} = 0.6$ [m/s]	$w_{saci} = 6$ [m/s]
$w_{výtláčná} = 10$ [m/s]	$x_4 = 0.3682$

ES Arrays Table

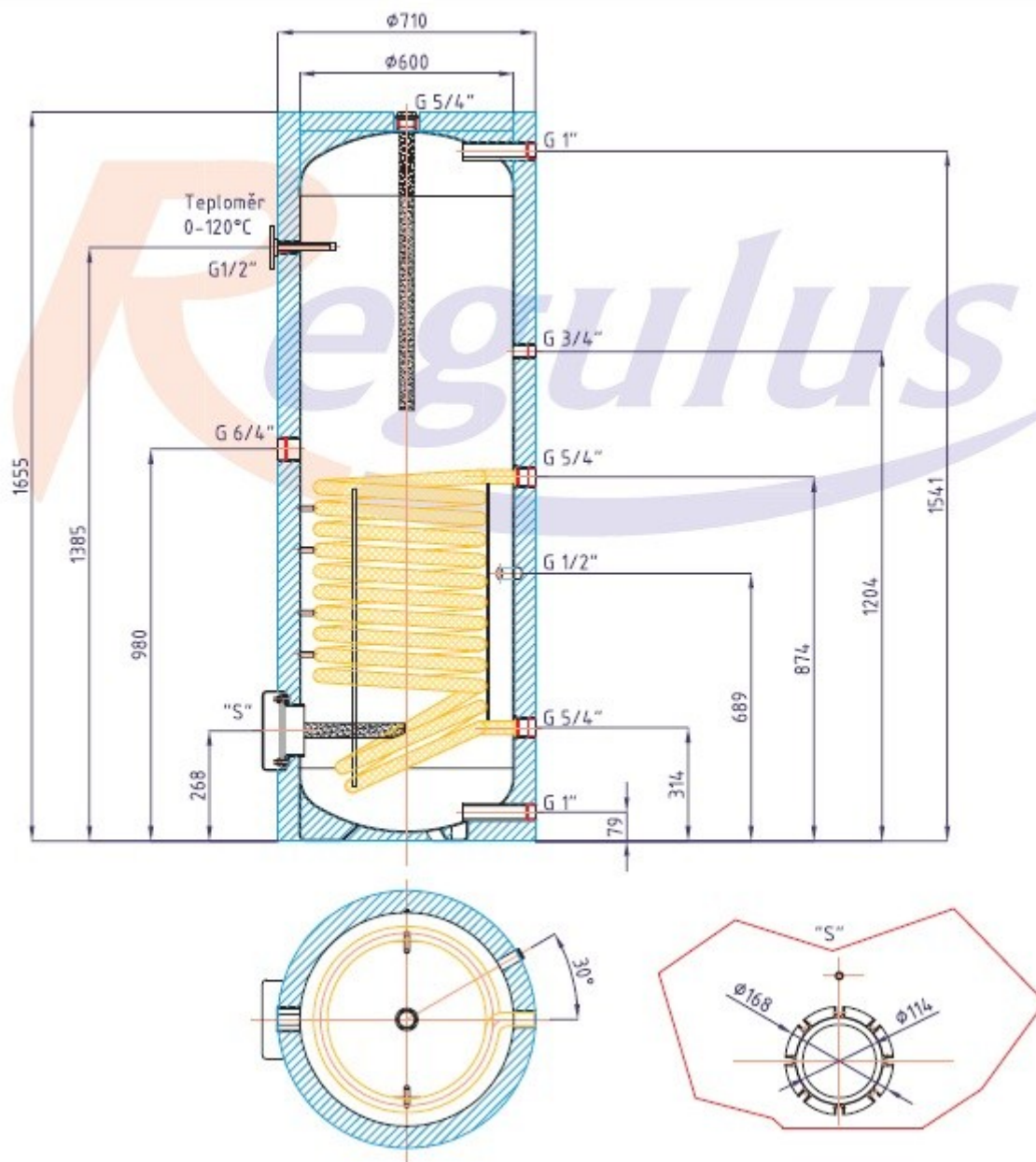
Sort	1 h_i	2 P_i	3 s_i	4 T_i [°C]
[0]			1.01	5
[1]	271.8	539.5	1.019	8
[2]	323.1	2230	1.063	86.31
[3]	134.6	2230	0.9594	55
[4]	134.6	539.5	0.5108	50.6
[5]	271.8	539.5	0.4947	47.6
[6]			0.5228	0.8124
[7]			1.01	5

Příloha č. 3: Akumulační zásobník topné vody Regulus PS2F 300



Celkový objem zásobníku	300 l
Maximální provozní teplota zásobníku	95°C
Maximální provozní tlak zásobníku	6 bar
Hmotnost prázdné nádrže	69 kg

Příloha č. 4: Zásobník TV Regulus RBC 400



Celkový objem zásobníku	400 l
Objem topného hada	11 l
Plocha topného hada	1,9 m ²
Maximální provozní teplota zásobníku	95°C
Maximální provozní teplota topného hada	110°C
Maximální provozní tlak zásobníku	10 bar
Maximální provozní tlak topného hada	10 bar
Hmotnost prázdné nádrže	131 kg

Příloha č. 5: Technická specifikace výparníku AlfaNova 52-24H

AlfaNovaPlate Heat Exchanger

Technická Specifikace

Typ : AlfaNova 52-24HS1S2ThreaExt1"S3S4Solde1 1/8"

Výpočet : Datum : 14.4.2011

		Horká strana Secondary side	Studená strana Primary side(S4)
Kapalina		Voda	R407C
Hmotnostní průtok	kg/h	996.5	142.7
Zkondenzované médium/Odpařený	kg/h	0.000	97.00
Vstupní teplota	°C	10.0	1.2
Mez sytosti	°C		5.0
Výstupní teplota(plyn/liquid)	°C	5.0	8.0
Provozní tlak(Vstup/Výstup)	bara	/	5.55/5.45
Tlaková ztráta	kPa	6.60	10.4
Rychlost připojení(Vstup/Výstup)	m/s	0.666/0.666	1.37/4.34
Výměna tepla	kW	5.823	
Rezerva	%	16	
Střední rozdíl teplot	K	2.9	
Relative direction of the fluids		Protiproud	
Počet chodů		1	1
Materiál deska/ bonding		Alloy 316 / SS	
Zapojení S1 (Horká-Vstup)		Závit (vnější)/ 1" ISO 228/1-G	
(B21) Alloy 316			
Zapojení S2 (Horká-Výstup)		Závit (vnější)/ 1" ISO 228/1-G	
(B21) Alloy 316			
Zapojení S3 (Studená-Vstup)		Pájený/ 1 1/8" (H21) Alloy 316	
Zapojení S4 (Studená-Výstup)		Pájený/ 1 1/8" (H21) Alloy 316	
Kód tlakové nádoby		PED	
Návrhový tlak v 75.0 °C	Bar	25.0	30.0
Návrhový tlak v 225.0 °C	Bar	21.0	26.0
Návrhová teplota	°C	-196.0/225.0	
Celková délka x šířka x výška	mm	95 x 111 x 526	
Čistá váha, prázdná/provozní	kg	7.36 / 7.36	
Price incl Extras RCPL:		1519 EUR	

Provoz výměníku bude odpovídat této specifikaci jen v případě dodržení provozních podmínek, pro které byla tato specifikace vypracována.

Physical Properties

	Horká strana Kapalina	Plyn	Studená strana Kapalina	Plyn
(vstup/výstup)				
Hust	1000/1001		1237/1210	23.17/21.98
Sp. teplo	4.204/4.211		1.411/1.452	0.9975/0.9713
Visk	1.31/1.52		0.218/0.200	0.0114/0.0118
Tep. vodivost	0.587/0.579		0.103/0.0989	0.0115/0.0120

Bub. p.	/-1.4
Mez sytosti	/5.0
Mol.W	86.20/86.20
Cr.pr.	46.47/46.47
Cr.temp.	86.1/86.1
Lat. teplo	207.3/200.6

Příloha č. 6: Technická specifikace kondenzátoru AlfaNova 27-40H

AlfaNovaPlate Heat Exchanger

Technická Specifikace

Typ : AlfaNova 27-40HS1S2ThreaExt1"S3S4Solde1 1/8"
 Výpočet : Datum : 12.4.2011

		Horká strana Primary side(S4)	Studená strana Secondary side
Kapalina		R407C	Voda
Hmotnostní průtok	kg/h	145.1	459.8
Zkondenzované médium/Odpařený	kg/h	145.1	0.000
Vstupní teplota	°C	86.3	35.0
Mez sytosti	°C	55.0	
Výstupní teplota(plyn/liquid)	°C	50.5/46.3	50.0
Provozní tlak(Vstup/Výstup)	bara	22.5/22.5	
Tlaková ztráta	kPa	0.203	0.366
Rychlost připojení(Vstup/Výstup)	m/s	1.21/0.0963 0.310/0.312	
Výměna tepla	kW	8.000	
Rezerva	%	15	
Střední rozdíl teplot	K	10.0	
Relative direction of the fluids		Protiproud	
Počet chodů		1	1
Materiál deska/ bonding		Alloy 316 / SS	
Zapojení S1 (Studená-Výstup) (B21) Alloy 316		Závit (vnější)/ 1" ISO 228/1-G	
Zapojení S2 (Studená-Vstup) (B21) Alloy 316		Závit (vnější)/ 1" ISO 228/1-G	
Zapojení S3 (Horká-Výstup)		Pájený/ 1 1/8" (H21) Alloy 316	
Zapojení S4 (Horká-Vstup)		Pájený/ 1 1/8" (H21) Alloy 316	
Kód tlakové nádoby		PED	
Návrhový tlak v 75.0 °C	Bar	30.0	25.0
Návrhový tlak v 225.0 °C	Bar	26.0	21.0
Návrhová teplota	°C	-196.0/225.0	
Celková délka x šířka x výška	mm	132 x 111 x 310	
Čistá váha, prázdná/provozní	kg	6.98 / 6.98	
Price incl Extras RCPL:		1426 EUR	

Provoz výměníku bude odpovídat této specifikaci jen v případě dodržení provozních podmínek, pro které byla tato specifikace vypracována.

Physical Properties

(vstup/výstup)	Horká strana		Studená strana	
	Kapalina	Plyn	Kapalina	Plyn
Hust	794.7/1008	79.86/100.4	992.7/986.8	
Sp. teplo	2.427/1.866	1.191/1.793	4.179/4.174	
Visk	0.0696/0.114	0.0190/0.0152	0.721/0.546	
Tep. vodivost	0.0452/0.0712	0.0172/0.0149	0.624/0.642	
Bub. p.		50.5/50.5		
Mez sytosti		55.0/55.0		
Mol.W		86.20/86.20		
Cr.pr.		46.47/46.47		
Cr.temp.		86.1/86.1		
Lat. teplo			136.3/144.8	